

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Obor M3106
Textilní technologie
Katedra textilních technologií

ANALÝZA DEFORMAČNÍCH VLASTNOSTÍ OSNOVNÍCH
NITÍ Z HLEDISKA TKACÍHO PROCESU

ANALYSIS OF DEFORMATION CHARACTERISTICS
OF WARP THREADS OF WEAVING PROCESS

Petra Strašáková

Vedoucí práce: Ing. Petr Tumajer, Ph.D.

Konzultant: Ing. Martin Bílek, Ph.D.

Počet stran textu: 72

Počet obrázků: 49

Počet tabulek: 4

Počet příloh: 4

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č.121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **souhlasím** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 5.ledna 2009

.....

Petra Strašáková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Petru Tumajerovi, Ph.D. za odborné vedení při zpracování diplomové práce a za velmi přínosné připomínky. Za cenné rady a pomoc při realizaci experimentální části této práce děkuji také Ing. Ingolfu Brotzovi a Ing. Martinu Bílkovi, Ph.D.

Anotace

Cílem diplomové práce je hodnocení vybraných charakteristik osnovních nití.

Hlavním úkolem je popsat vlivy tkací frekvence a upínací délky osnovy na deformační vlastnosti osnovních nití (modul tuhosti). Dále nalézt, jak analyzovat tyto vlivy při otevírání prošlupu.

Poté navrhnout vhodný způsob teoretického popisu deformačních vlastností dané nitě z hlediska tkacího procesu.

Annotation

The purpose of this thesis is to classify selected characteristics of warp threads.

The main task is to describe influences of weaving frequency and clamping length of warp thread for deformation characteristics of warp threads (elasticity module). Then it is discovered how to analyze these influences during the shed opening.

Next we suggest a solution suitable for teoretical description of deformation characteristics of specified thread from the viewpoint of weaving process.

Klíčová slova

Tkací stroj	Weaving loom
Osnovní nit	Warp thread
Speciální testovací zařízení	Special testing device
Frekvence protahování	Elongation frequencies
Upínací délka	Clamping length
Modul tuhosti	Elasticity module
Reologický model	Rheologic model
Měření	Measurement

OBSAH

Úvod	9
1. Možnosti analýzy vlastností osnovních nití z hlediska tkacího procesu	11
1.1 Hlavní fáze tkacího procesu	12
1.2 Namáhání nití při tvoření prošlupu	12
1.3 Protážení a prokluz nití v prošlupu	14
1.3.1 Základní prošlup	15
1.3.2 Tření nití v očkách nitěnek	19
2. Reologické vlastnosti materiálů	22
2.1 Mechanické vlastnosti textilních materiálů a jejich zkoušení	23
2.2 Deformační vlastnosti	27
2.2.1 Elastická deformace	27
2.2.2 Viskoelastická deformace.....	28
2.2.3 Plastická deformace.....	29
3. Reologické modely.....	34
3.1 Základní reologické látky	34
3.1.1 Pružina – Hookeova elastická látka	35
3.1.2 Viskózní element – Newtonova vazná kapalina	40
3.2 Nejjednodušší základní spojení reologických elementů.....	44
3.2.1. Viskoelastické látky	44
3.3 Víceparametrové modely – standardní model.....	49
4. Periodické namáhání materiálu.....	54
4.1 Deformace nitě s harmonickým průběhem (viskoelas. materiál).....	54
5. Experimentální část	58
5.1 Použité zařízení.....	58
5.1.1 Speciální vibrační zařízení.....	59
5.1.2 Budič vibrací	59
5.1.3 Snímače.....	60
5.2 Použitý materiál.....	60
5.3 Popis měření.....	61
6. Zpracování výsledků	62
7. Závěr	68
Použitá literatura	69
Seznam obrázků	70
Seznam tabulek	71
Seznam příloh.....	72

SEZNAM SYMBOLŮ

A	amplituda periodické funkce
b	útlumová konstanta [N/m.s ⁻²]
C	modul tuhosti nitě, pružiny [N/m]
C_H	modul tuhosti pružiny [N/m]
C_{MI}	modul tuhosti pružiny [N/m]
E	modul pružnosti v tahu (Youngův modul) [Pa]
E_0	absolutní dynamický modul [N/m]
E_1	reálná složka komplexního modulu [N/m]
E_2	imaginární složka komplexního modulu [N/m]
$F(p)$	obrazový přenos
$F(j\omega)$	komplexní frekvenční přenos
H	hystereze [mN.mm]
H	zdvih listů (výška prošlupu) [mm]
j	imaginární jednotka
L	zvětšená délka prošlupu [mm]
L_1	zvětšená délka předního prošlupu [mm]
L_2	zvětšená délka zadního prošlupu [mm]
l	délka prošlupu (ráz) [mm]
l_1	délka předního prošlupu [mm]
l_2	délka zadního prošlupu [mm]
l_b	hloubka brda [mm]
S	plocha [m ²]
Q	tahová síla [N]
Q_1	tahová síla [N]
Q_2	tahová síla [N]
Q_H	tahová síla [N]
Q_M	tahová síla [N]
Q_{max}	maximální tahová síla [N]
Q_{KV}	tahová síla [N]
Q_z	tahová síla [N]
Q_{01}	amplituda síly [N]
t	čas [m/s]

v	rychlost (píst) [m/s ²]
α	úhel prošlupu [rad]
γ	smyková deformace [-]
$\dot{\gamma}$	smyková rychlost [m/s ²]
Δl	protažení nitě (deformace) [mm]
dl	protažení [mm]
ε	relativní deformace [%]
ε_1	deformace [%]
ε_2	deformace [%]
ε_u	deformace na mezi úměrnosti [%]
ε_e	deformace na mezi pružnosti [%]
ε_k	deformace na mezi kluzu [%]
ε_p	tažnost [%]
ε_M	deformace [%]
ε_{max}	deformace [%]
ε_{KV}	deformace [%]
ε_H	deformace [%]
ε_Z	deformace [%]
ε_{0I}	amplituda deformace [%]
ε_{0M}	amplituda deformace [%]
$\dot{}$	rychlost deformace [m/s ²]
η	dynamická viskozita [Ns/m ²]
σ	normálové napětí [Pa]
σ_0	amplituda napětí [Pa]
σ_u	napětí na mezi úměrnosti [Pa]
σ_e	napětí na mezi pružnosti [Pa]
σ_k	napětí na mezi kluzu [Pa]
σ_p	pevnost [Pa]
τ	tečné napětí [Pa]
τ_0	počáteční tečné napětí [Pa]
φ	fázový posuv [rad]
ω	úhlová frekvence [rad/s]
tga	směrnice přímky

ÚVOD

Postupem doby, vlivem zvýšené populace a rostoucích nároků spotřebitelů na výrobu textilií, nastal prudký rozvoj textilního průmyslu. Došlo jednak ke zvýšení technické i ekonomické úrovně strojního zařízení pro klasickou technologii tkaní (člunkové automatické stroje) a jednak k vývoji nových způsobů prohazování útku (stroje skřípcové, jehlové, tryskové) a dále pak stroje víceprošlupní.

Díky těmto uvedeným nekonvenčním způsobům se zvýšila produktivita strojů. Útkový výkon vzrostl především zvyšováním otáček tkacích strojů. Výjimkou v tomto případě byly stroje víceprošlupní. Zde je vysokých útkových výkonů dosahováno současným zanášením více útků. Vývoj víceprošlupních strojů však v dnešní době dále nepokračuje, a proto můžeme konstatovat, že nárůst výkonu tkacích strojů je dosahován výhradně zvyšováním tkacích frekvencí.

V současné době však došlo k zastavení růstu výkonu tkacích strojů. Například na výstavách ITMA je možné zaznamenat stagnaci útkového výkonu již od roku 1999. Jednou z možných příčin tohoto jevu je chování textilních materiálů při vysokých tkacích frekvencích.

Využitím nových materiálů se v minulých letech podařila snížit hmotnost jednotlivých částí tkacích strojů. Tím ale nabývá na významu vzájemné silové působení mezi textilním materiálem a mechanismy tkacího stroje. Silové působení textilních materiálů nemůžeme v žádném případě zanedbat.

Vzhledem k výše uvedenému, je tedy účelné analyzovat jednak chování mechanismů tkacího stroje a jednak chování textilního materiálu, aby bylo možné zajistit správné podmínky tkaní a nedocházelo tak k vadám ve vyráběném zboží.

V rámci této diplomové práce byl proveden experiment simulující namáhání osnovních nití při otevírání prošlupu na tkacím stroji a dále pak analýza deformačních vlastností těchto nití, v našem případě modulu tuhosti.

Provedení experimentu bylo uskutečněno pomocí speciálního zkušebního zařízení umístěného v laboratoři TU Liberec. Základem tohoto zařízení je vibrační systém, který umožňuje protahovat nit s vysokou frekvencí. Takto je umožněno realizovat, oproti standardním přístrojům, jako jsou dynamometry, protahování osnovních nití s frekvencí odpovídající skutečné frekvenci protažení vlivem tkacího procesu. Následně byl analyzován vliv frekvence a vliv upínací délky na deformační vlastnosti dané nitě.

Cílem pak bylo výsledky z provedeného měření zpracovat a na jejich základě navrhnout vhodný způsob teoretického popisu deformačních vlastností dané nitě z hlediska tkacího procesu.

1. Možnosti analýzy vlastností osnovních nití z hlediska tkacího procesu

Jak bylo zmiňováno v úvodu, došlo ke stagnaci útkového výkonu. Ten rostl především zvyšováním otáček tkacích strojů. Řádově z 200 otáček za minutu na 1000 až 2000 otáček za minutu. [1]

Zvyšování výkonu tkacího stroje, tedy zvyšování frekvence, má nejen vliv na dynamické vlastnosti mechanismů stroje, ale velmi silně se projevuje i na vlastnostech (dynamické odezvě) textilního materiálu. [2]

S výše uvedeným souvisí vývoj jednotlivých mechanismů strojů. Například došlo ke zmenšení pohybujících se hmot, zejména prohozních a přírazných elementů a tím ke snížení namáhání mechanismů konajících zpravidla vratný kývavý pohyb. U těchto mechanismů se však projevují při vysokých frekvencích zmíněné dynamické vlastnosti. Vysoké frekvence nemají vliv pouze na mechanismy stroje, ale také se při nich projevují reologické vlastnosti osnovy i útku. Vzhledem k uvedenému je pak nutné tyto dynamické účinky, ať už mechanismů nebo textilního materiálu, analyzovat a vyhodnocovat a zajistit tak výrobu kvalitního materiálu. [3, 4]

Dynamické účinky se mohou například projevit u osnovních nití při procesu tkaní. Nítě jsou opakovaně mechanicky namáhány, a to zejména na tah. Toto namáhání lze popsat pomocí reologie. Vyplynávající charakteristiky osnovních nití, jako např. modul pružnosti, číselně vyjadřují jejich mechanické vlastnosti. Vnější působení na nítě může být jednorázové či cyklické a jedná se o statické nebo dynamické namáhání.

Jedna z možností měření zmiňovaného tahu v osnovních nitích a ostatních časových průběhů různých mechanismů při procesu tkaní, je měření přímo na tkacím stroji. Měření však vyžaduje vhodnou úpravu konstrukce stroje. Jednotlivá čidla jsou umístěna přímo na tkacím stroji. Pro měření tahové síly v niti je užito standardního tříkolíkového snímače. Záznam tahové síly z tkacího stroje lze vidět v příloze č. 1. Toto měření není příliš ekonomické, proto jsou ve většině případů, textilní materiály zkoušeny na standardních přístrojích-dynamometrech. Ty však neumožňují protahování nití s frekvencí odpovídající frekvenci při skutečném procesu tkaní. Z tohoto důvodu bylo zkonstruováno speciální zkušební zařízení (obr. 42) pro simulaci namáhání nití vlivem tkacího procesu, které takovéto protahování umožňuje. Základem tohoto zařízení je elektromagnetický vibrační systém.

Dále vzhledem k tomu, že hlavní fáze tkacího procesu působí na změnu tahové síly v osnově, bude o nich pojednáváno v následujících kapitolách.

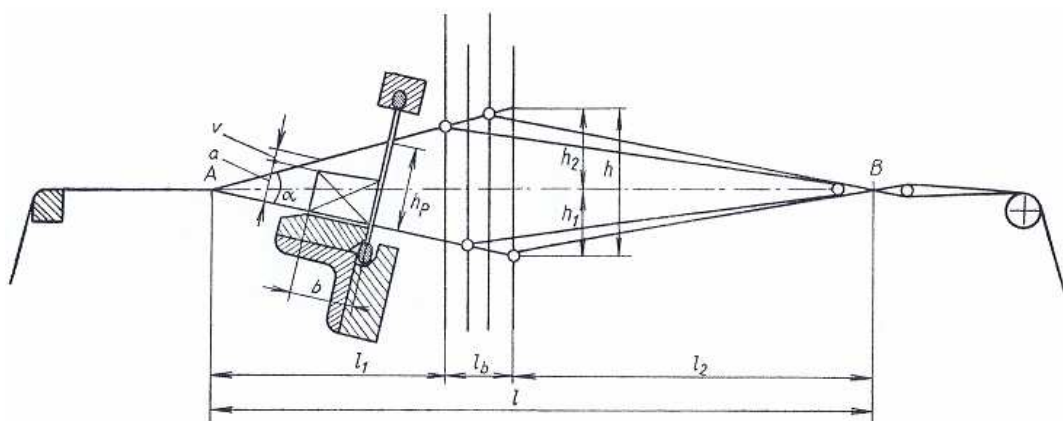
1.1 Hlavní fáze tkacího procesu

Tkanina se vytváří provázáním dvou pravoúhlých soustav nití – osnovy a útku. Osnovní nitě vedené rovnoběžně vedle sebe vcházejí do tkacího procesu podélně v plném počtu. Útkové nitě se zanáší napříč osnovou, a to postupně, vždy po jedné niti během jednoho pracovního cyklu stroje. Jednotlivé fáze cyklu, tkacího procesu, jsou čtyři a vzájemně se překrývají. Jedná se o otevření prošlupu, zanesení útku, zavření prošlupu a příraz útku.

Během tohoto procesu dochází ke změně tahové síly v osnově. K této změně dochází zejména vlivem otevírání a zavírání prošlupu a vlivem procesu přírazu. [5]

1.2 Namáhání nití při tvoření prošlupu

Prošlup se vytváří zvednutím některých osnovních nití a stažením ostatních v první fázi pracovního cyklu tkaní. Vzniká dle požadované vazby tkaniny pomocí nitěnek, do kterých jsou jednotlivé osnovní nitě navlečeny, a to brdem listovým (listové stroje) nebo brdem šňůrovým (žakárské stroje).



Obr. 1 Geometrie prošlupu dle [6]

Geometrický tvar prošlupu (obr. 1) je dán čelem tkaniny - bod **A**, polohou brda a uložením křížových činků - bod **B** nebo lamel osnovní zarážky, popř. osnovní svůrkou, tká-li se bez činků. Rovinu proloženou těmito body **A**, **B** nazýváme tkací rovinou.

Spojnice bodů **A**, **B**, která dělí prošlup na horní a dolní, určuje délku prošlupu l . Ta se skládá z délky předního prošlupu l_1 , hloubky brda l_b a délky zadního prošlupu l_2 .

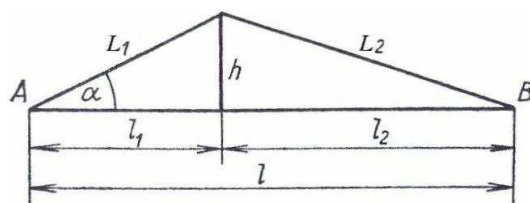
Největší vzdálenost, na které se ve svislém směru přemisťují očka nitěnek, a tedy i osnovní nitě, nazýváme výškou prošlupu h neboli zdvihem listů.

Všechny parametry prošlupu přímo nebo nepřímo mají vliv na tah osnovních nití. Celková konstrukce stroje, především tedy způsob zanášení útku, ovlivňuje velikost prošlupu, tj. délku a výšku. Na bezčlunkových strojích je vzhledem k menším rozměrům a , b zanašeče útku dosahováno nižšího prošlupu než na člunkových tkacích strojích. Na člunkových strojích se výška prošlupu volí tak, aby při zadní úvrati paprsku a plně otevřeném prošlupu byla mezi zanašečem a nitěmi horní prošlupní roviny vůle v (1-2 mm). Úhel α s vrcholem v předním prošlu je dán velikostí rozevření osnovy. U neortodoxních způsobů se tento úhel volí přibližně stejně velký jako na klasickém člunkovém stavu. Zajistí se tak správné rozdělování nití a zabrání se tvorbě tzv. spínáků (špatné rozdělování nití). Pro zachování konstantního úhlu, u všech osnovních nití, je z obr. 1 patrné, že zadní listy musí konat větší zdvih. Z tohoto důvodu se brdo umísťuje co nejblíže ke tkalci, aby zdvih těchto listů nebyl příliš velký. Nitě ve spodním prošlupu by měly jen lehce dosedat na člunkovou dráhu, když je paprsek (bidlo) v zadní úvrati (umístění listů na výšku). Na výkyvu bidla také závisí délka předního prošlupu. [6]

1.3 Protažení a prokluz nití v prošlupu

Jak bylo uvedeno, tvar prošlupu (obr. 1) má značný vliv jednak na proces tkaní a jednak, zejména jeho velikost, na namáhání osnovních nití při jeho vytváření. Při otevírání a zavírání prošlupu je osnova namáhána v tahu. Dochází k jejímu napínání, ohybu a tření v očkách nitěnek. Útek, jenž je při tkaní do prošlupu zatlačen, je komplexně namáhán na tah a ohyb. Mezi osnovou a útkem dochází také ke vzájemnému tření.

Matematický vztah pro protažení (deformaci) osnovní nitě lze vyjádřit pomocí zjednodušeného základního prošlupu (obr. 2), který představuje pouze jednu polovinu skutečného prošlupu (obr. 1). [6]



Obr. 2 Základní prošlup dle [6]

1.3.1 Základní prošlup

Při otevírání prošlupu dochází k protažení nití o délku Δl . Z obr. 2 plynou tyto vztahy a pro protažení osnovní nitě Δl dostaneme [6]:

$$L = L_1 + L_2 = l + \Delta l \quad a \quad l = l_1 + l_2 \quad \Rightarrow \quad \Delta l = L_1 + L_2 - l_1 - l_2 \quad (1)$$

Použitím Pythagorovy věty z pravoúhlých trojúhelníků vyplývá [6]:

$$L_1 = \sqrt{l_1^2 + h^2} \quad a \quad L_2 = \sqrt{l_2^2 + h^2} \quad (2)$$

Po dosazení vztahů (2) do (1) dostáváme [6]:

$$\Delta l = \sqrt{l_1^2 + h^2} + \sqrt{l_2^2 + h^2} - l_1 - l_2 \quad (3)$$

Pro zjednodušení vztahu (3) lze výrazy s odmocninami nahradit přibližnými vztahy [6]:

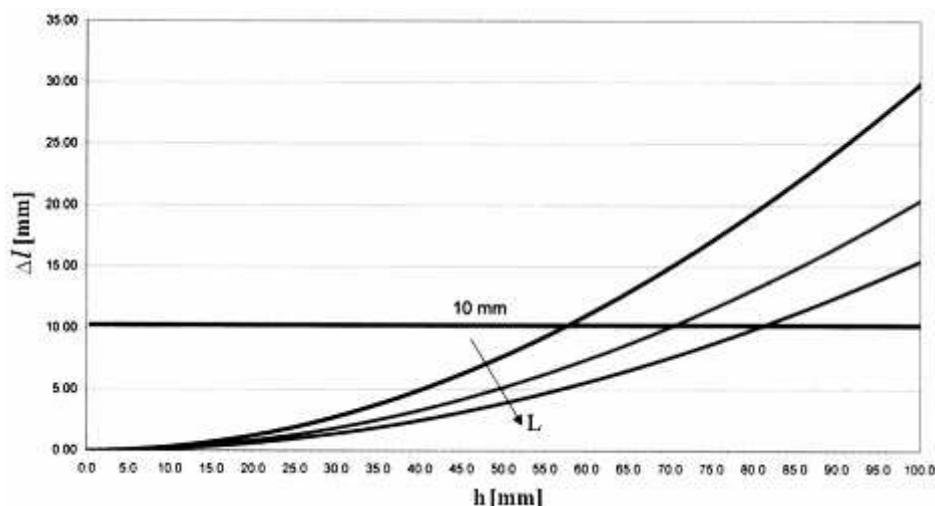
$$\sqrt{l_1^2 + h^2} \approx l_1 * \left(1 + \frac{h^2}{2 * l_1^2}\right); \quad \sqrt{l_2^2 + h^2} \approx l_2 * \left(1 + \frac{h^2}{2 * l_2^2}\right) \quad (4)$$

Dosazením vztahů (4) a úpravou vztahu (3) získáváme vztah (5) vyjadřující závislost prodloužení Δl na výšce prošlupu h a délce přední části l_1 a zadní části l_2 prošlupu [6]:

$$\Delta l = \frac{h^2}{2} * \left(\frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2}\right) \quad (5)$$

Rozborem vztahu (5) zjistíme, že protažení nití (jejich namáhání) je úměrné druhé mocnině výšky prošlupu (h^2). Nejmenší protažení, při stejném zdvihu, mají nitě, jejichž list je umístěn v polovině délky prošlupu, tj. při $l_1 = l_2$. Není-li list přesně uprostřed prošlupu, např. $l_1 < l_2$ (l_1 je blíže tkalci), pak protažení $\Delta l_1 > \Delta l_2$, jak je patrné i z obr. 3. Dále je ze vztahu zřejmé, že čím větší bude délka prošlupu, tím bude protažení nití menší. [6]

Například, jak je uvedeno v [5], při zdvihu listu o 50-60 mm dochází k protažení nití přibližně o 10 mm, a to při určité upínací délce. Při jiné délce a stejném zdvihu listů dostaneme větší či menší protažení nitě, jak je znázorněno na následujícím obrázku č. 3.



Obr. 3 Závislost protažení nití na zdvihu listu dle [5]

Protažení Δl je absolutní deformace vyjádřená v absolutních jednotkách. Aby však bylo možno porovnávat deformace různých materiálů, je vhodné ji přepočítat na deformaci relativní, vyjádřenou bezrozměrně, popř. v procentech.

Absolutní deformace [6]:

$$\Delta l = L - l, \quad (6)$$

kde l značí původní délku osnovní nitě, L pak délku po protažení.

Relativní deformace ε je dána poměrem [6]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (7)$$

Poměrné prodloužení (relativní deformace) je součtem plastického a elastického prodloužení. Při namáhání osnovních nití by nemělo překročit mez pružnosti nitě (obr. 6). Znamená to, že závislost působící síly (tah nitě) a protažení (deformace) by měla být při tvorbě prošlupu lineární. Pokud tomu tak je, deformace je jen elastická, tzn. okamžitá, časově nezávislá a vratná. Nevzniká tedy trvalé (plastické) prodloužení osnovy čili nevratná deformace. [7, 8]

Některé materiály, jako např. syntetické hedvábí, jsou citlivé na plastickou deformaci. Vliv této deformace je nutný co nejvíce omezit a zabránit tak změnám struktury nitě a vadám na tkanině. Jinak by v následující operaci, jako např. fixaci, barvení apod., mohlo docházet k nestejnomořnosti vysrážení či vybarvení tkaniny.

Změnou parametrů prošlupu lze tuto deformaci snížit, a to použitím neortodoxních způsobů zanášení útku, kdy velikost zanašeče oproti klasickému člunku je menší. Zmenší se tak výška prošlupu h . Další možností je změna celkové délky

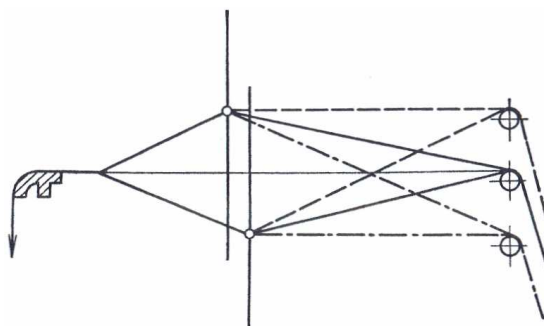
prošlupu I , jejím zvětšením. V obou případech tak dochází k menšímu namáhání osnovy. [8]

Poměry při namáhání nití jsou u skutečného prošlupu poněkud složitější, avšak příznivější. Body A a B nejsou totiž nehybné. Čelo tkaniny – bod A se jednak pohybuje ve vodorovném směru, a to vpřed při přírazu útku a vzad při tvorbě prošlupu a jednak ve svislém směru vlivem nestejného napětí osnovních nití v dolní a horní části prošlupu. Poloha bodu B je ovlivňována pohybem osnovní svůrky a popouštěním osnovy.

Namáhání nití při tvorbě prošlupu, zejména vyrovnaní jejich napětí, lze do jisté míry ovlivnit osnovní svůrkou. Osnovní svůrku je možné seřídít jak ve svislé, tak ve vodorovné poloze. [6]

a) Seřízení svůrky ve svislé poloze

Působící síla v horní a v dolní prošlupní rovině bude stejná, pokud bude osnovní svůrka umístěná ve tkací rovině a bude-li se jednat prošlup plný. Tkají se tak vazby se stejným počtem nití. Nebude-li tomu tak, v každé části prošlupu je počet nití jiný, je třeba zajistit při přírazu útku přibližně stejný tah součtu nití, a to změnou polohy osnovní svůrky. Jinak by docházelo k vytlačování útku na stranu s menším počtem nití v osnově. Proto musíme tyto nitě více napnout. Zvednutím svůrkového válce se síla působící v horní větvi prošlupu zmenší, v dolní naopak zvětší. Při spuštění svůrky nastává opak. Polohy osnovní svůrky jsou znázorněny na obr. 4. [6, 9]



Obr. 4 Poloha osnovní svůrky a geometrie prošlupu dle [6]

b) Seřízení svůrky ve vodorovné poloze

Jak již bylo řečeno, část prošlupu mezi vytvořenou tkaninou a brdem se nazývá přední prošlup, část mezi brdem a osnovní svůrkou, popř. křížovými činky, zadní prošlup. Celkovou vzdálenost prošlupu l , tj. přední a zadní prošlup, pak nazýváme rázem tkaniny.

Vzhledem k druhu materiálu volíme velikost rázu. Jemné materiály například hedvábí vyžadují dlouhý ráz (1500 mm), pevnější staplové materiály jako bavlna ráz kratší (800–1200 mm). Při dlouhém rázu je namáhání nití při otevírání prošlupu nižší. Nevýhodou je však hloubka stavu (dlouhý stav). Navíc se nitě oddělují pod menším úhlem a je zde možnost vzniku nežádoucích spínáků. Krátký ráz naopak zabezpečuje snadnější oddělování nití, nitě se rychleji napínají. Tím však dochází opět ke vzniku většího napětí v osnově.

Délka rázu je dána především konstrukcí stavu. V menším rozmezí lze však délku rázu upravit posuvem svůrky vpřed či vzad. Tímto pohybem však dojde ke změně vzájemné polohy svůrky a osnovního válu. To může mít vliv na činnost osnovního regulátoru, je-li použito odpružené svůrky. [6]

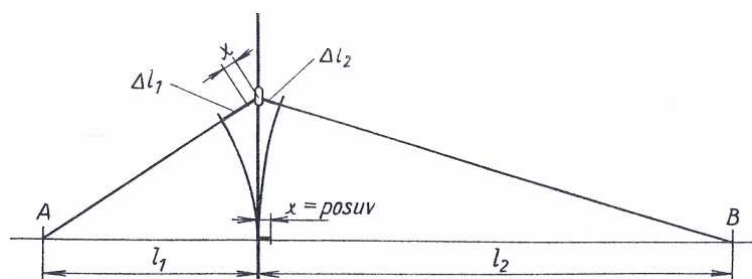
Kromě namáhání na tah, jsou také osnovní nitě namáhány třením v očkách nitěnek. O čemž bude řečeno níže.

1.3.2 Tření nití v očkách nitěnek

Při zdvihu, popř. stahu listu nastává určitý posuv (x na obr. 5) osnovních nití směrem dopředu, popř. zpět dozadu. Posuv neboli prokluz nití se pravidelně opakuje a je příčinou namáhání osnovy v oděru (tření). Čím blíže bude list k čelu tkaniny, bod A , tím bude větší posuv nitě v oku nitěnky. Pokud bychom chtěli, aby prokluz nenastal, musel by se list pohybovat po šikmé dráze, tzn. že jeho horní část by se vyklonila směrem ke tkalci. Tomuto by však vyhovoval jen základní prošlup. U skutečného prošlupu by nastal ve spodní části naopak účinek opačný. Prokluz by se zvětšil.

Ve skutečnosti při tkaní dochází k vyhnutí nitěnky dle pohybu osnovy. Kompenzuje se tak část posuvu nitě. Stejně tak i vlastní tření textilního materiálu v oku nitěnky při zvýšeném napětí nitě nebo i čelo tkaniny, bod A , které se může při rozevírání prošlupu mírně posouvat směrem k paprsku, zabraňují prokluzu. [6]

Pružení osnovy se účastní také její volná délka, tedy. délka od osnovního válu ke křížovým činkům. Je-li použit výkyvný regulátor, dochází vlivem zvýšeného namáhání osnovy k pootočení osnovního válu a poté k uvolnění napětí osnovy. Je tedy namáhání osnovních nití při tvoření prošlupu menší než tření způsobené pravidelným odtahováním tkaniny. Skutečný prokluz je tedy podstatně menší než odvozený teoretický prokluz. [9]



Obr. 5 Tření nitě v oku nitěnky dle [6]

Celkové napětí osnovy a s tím spojené její protažení, ovlivňují nejen mechanismy nacházející se ve tkací rovině (svůrka, činky, popř. valcha...), ale i zařízení pro její popouštění (osnovní vál s regulátorem nebo brzdou), pro odtah a navíjení tkaniny (prsník, odtahovací zařízení, zbožový regulátor) a také prošlupní, prohozní (člunek, jehla...) a přírazné mechanismy (bidlo). Těmito systémy regulujeme požadovaný tah osnovy při tvorbě prošlupu. Tahová síla nesmí být taková, aby ohrožovala proces tkaní. Např. nadměrné uvolnění napětí nití vede ke vzniku, dříve zmiňovaných, spínáků, stehů (útek jde vrchem nebo spodem osnovy) nebo přetrhů. Stejně tak vyšší přepětí má rovněž vliv na přetrhavost. Je tedy nutností zajistit správnou synchronizaci všech mechanismů stroje. [6, 10]

U rychloběžných strojů jsou osnovní nitě protahovány s vysokou frekvencí. Jak, již bylo výše uvedeno, je nutné dbát na to, aby při tkaní byl textilní materiál namáhán v mezích pružnosti. Nedochozí při zvyšování tkacích frekvencích k namáhání mimo tuto mez? Potom by docházelo k projevu reologických vlastností, popisující mechanické chování materiálu, a to nejen silově a deformačně, ale také v závislosti na čase.

Podle níže uvedené literatury, lze, vzhledem k běžné volné délce osnovní nitě na stroji a současným tkacím rychlostem, vliv hmoty samotné osnovy zanedbat. Hmoty textilního materiálu nemají tedy vliv při tkacím procesu. Jsou příliš malé. Pokud by došlo k dalšímu zvyšování rychlosti tkaní, zřejmě by bylo nutné tuto hmotnost uvažovat. [4]

Tah osnovy ve většině případů stoupá s odetkanou délkou osnovy a s klesajícím poloměrem návinnu osnovního válu. V důsledku odchylek napětí osnovy může docházet ke změnám struktury utkané tkaniny. Např. při zastavení stavu dochází k posuvu čela tkaniny (relaxace napětí). Změny ve struktuře nelze zanedbat. Lidské oko totiž registruje obvykle shluky chybných vazných bodů ve tkanině integrálně a tedy poměrně výrazně. [10]

Při tkacím procesu je tedy důležité brát výše uvedené vlivy v úvahu a zajistit jejich vyrovnaní (regulaci). Z tohoto také vyplývá, že je nutné textilní materiál, při definovaných podmínkách aproximující skutečný proces namáhání, laboratorně zkoušet, tzn. podrobovat statickému či dynamickému působení a posléze vyhodnocovat chování materiálu, a to numericky, popř. graficky.

Pro popis a numerický výpočet mechanických vlastností (chování) materiálu je možné použít klasickou teorii pružnosti a pevnosti vybudovanou zejména pro zkoumání

vlastností kovů. Vzhledem k tomu, že se však zabýváme, jak již bylo zmiňováno, textilním materiálem, není použití této teorie příliš vyhovující. Není to vhodné zejména z důvodu neostré hranice mezi pevnou látkou a kapalinou, kterou může tento materiál v určitém stavu zaujímat a také uvažování časové závislosti mezi deformací a napětím. Pro studium takových mechanických vlastností se využívá tzv. reologie, o které pojednáme v následujících kapitolách. [11]

2. Reologické vlastnosti materiálů

Jak uvádí literatura [11], byla reologie definována jako nauka o deformaci a tečení látek. Při jejím konstituování se ukázalo, že není vhodné striktně rozlišovat pevné látky a kapaliny, a že je vhodnější uvažovat ve složitých kapalinách určité elastické vlastnosti a naopak v pevných látkách vlastnosti kapalin – jejich tečení. Nejedná se tedy o tzn. reologicky jednoduché látky, jakými jsou především kovy, ale o látky reologicky kombinované, jako například plastické hmoty, kaučuky, syntetické látky apod. a také náš zkoumaný textilní materiál. Tedy látky převážně polymerního charakteru.

Reologické chování textilního materiálu, v našem případě osnovních nití, je odrazem analogických vlastností samotného vlákna. Vzhledem k tomu, že se v nitích navíc projevují vlivy struktur, jako nadvlákenná struktura (uspořádání vláken) a také samotná struktura vlákna, tj. korpuskulární struktura hmoty (rozložení atomů a molekul a jejich vzájemné silové působení tedy krystalický, amorfní podíl), je toto reologické chování složitější. My se však těmito vlivy struktur či-li mikroskopickým pohledem nebudeme hlouběji zabývat, přesto tento fakt zohledníme. K popisu vlastností nití budeme v našem případě uvažovat především přístup makroskopický a textilní materiál budeme brát jako model spojitého prostředí (kontinuum), ve kterém předpokládáme spojitě rozložení hmotnosti a jehož všechna místa jsou také schopna přenosu sil. [12]

Podívejme se blíže na mechanické vlastnosti textilních materiálů a jejich zkoušení a následně využití reologických modelů pro jejich popis.

2.1 Mechanické vlastnosti textilních materiálů a jejich zkoušení

Bylo řečeno, že ve tkacím procesu při tvorbě prošlupu, kdy jsou osnovní nitě opakovaně namáhány vysokou frekvencí při vysokých rychlostech tkaní, dochází k reologickým vlivům. Ty mohou ovlivňovat, v závislosti na daných podmínkách, výslednou kvalitu materiálu. Proto je třeba tyto vlivy zkoumat a realizovat různé experimentální zkoušky.

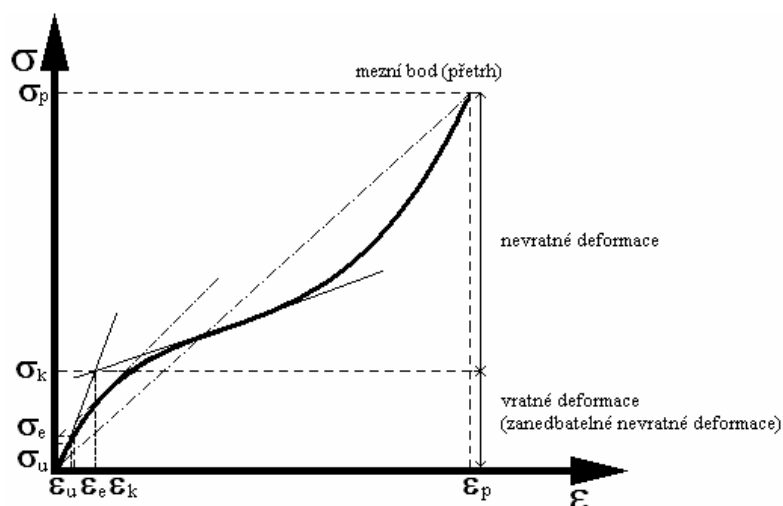
Podle časového režimu působícího namáhání rozeznáváme vlastnosti statické, kdy se jeho velikost s časem nemění. Dále dynamické, a to s periodickým (pravidelným) nebo neperiodickým časově závislým působením. Při dynamických experimentech vlivem vysokých rychlostí jednak nedochází, oproti statickým, k výměně tepla mezi zkoumaným vzorkem a jeho okolím a jednak makromolekuly látky nestačí na rychlé časové změny působících sil reagovat. Mimo to, rozeznáváme také zkoušky jednorázové (destrukční) a cyklické (deformační či do porušení).

Mezi statické experimenty patří například kríповé a relaxační zkoušky mechanických vlastností a také i konvenční tahová zkouška. U dynamických experimentů se nejčastěji využívá periodické změny podnětu. [7]

U některých materiálů, zejména pro technické účely, se obvykle požaduje odolnost vůči komplexnímu namáhání, např. tah – ohyb při zakrucování přize, zatkováání útku apod. V laboratořích provádíme tato namáhání odděleně od sebe [13].

Mechanické vlastnosti svědčí o kvalitě materiálu a při jeho zkoušení se často sledují podíly pružné, viskoelastické a plastické deformace. Za definovaných podmínek tedy působíme vnější silou (napětím) na vzorek určité velikosti i tvaru a měříme změnu vzorku (deformaci). Tato změna je vlastně odezvou odpovídající na budící funkci (navolený podnět). Vzhledem ke znalosti budící funkce a odezvy lze pak materiálové vlastnosti, jako např. tuhost osnovy při tkaní, kterou se zabývá náš experiment, stanovit vhodným vztahem plynoucím z pozorování a číselně vyjádřit. Materiálová vlastnost je konstantou v případě stejných stavových podmínek (teploty, tlaku, vlhkosti). Těmito stavovými (klimatickými) podmínkami, zejména teplotou a vlhkostí, mohou být pak výsledky měření mechanických vlastností do značné míry ovlivněny, jak je například uvedeno v literatuře. [13] Některé materiály, jejichž vlastnosti jsou ovlivněny velkou rozměrností makromolekul, pak vykazují i, již zmiňovanou, závislost na čase či-li na rychlosti zatěžování (přeskupení vnitřních sil). [14]

Celkově jsou mechanické vlastnosti materiálu charakterizovány tvarem a strmostí pracovní křivky tahové zkoušky (obr.6). Ta patří ke zkouškám, při kterých se měří vztah mezi napětím a jím vyvolanou deformací. [7]



Obr. 6 Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky dle [7]

Na pracovní křivce, jejíž průběh závisí na materiálu, rychlosti namáhání a také klimatických podmínkách bychom mohli v ideálním případě stavonit tyto jednotlivé meze:

Mez úměrnosti σ_u (linearity) - definujeme jako nejvyšší napětí, jenž je přímo úměrné deformaci. To znamená, že deformace okamžitě vznikají a zanikají se zatížením a odlehčením nezávisle na době jeho působení. Časově nezávislou elastickou závislost mezi napětím a deformací pak vyjádříme Hookeovým zákonem [7]:

$$\sigma = E * \epsilon, \quad (8)$$

kde E je modul pružnosti v tahu (též Youngův modul). σ je normálové napětí způsobené tahovou silou Q , tj. silou v ose materiálu kolmou na jeho průřez S [13]:

$$\sigma = \frac{Q}{S} \quad (9)$$

Další mezí je **mez pružnosti σ_e** - napětí v této oblasti je určeno jako takové, které ještě nevyvolává trvalé (plastické) deformace. Vzhledem k tomu, že se však nevratné deformační změny začínají projevovat postupně, je obtížné určit rozhraní mezi elastickou a plastickou deformací a tuto mez experimentálně stanovit. Určuje se pak jako takové napětí, jenž způsobí určitou minimální trvalou deformaci, kterou je možno považovat ještě za zanedbatelnou. Tato mez souvisí stále s čistě elastickou deformací

v materiálu (Hookeovskou). Často bývá mez pružnosti σ_e nazývána horní hranicí meze úměrnosti σ_u .

Tato čistě elastická deformace se, narozdíl od kovů, v textilních materiálech nevyskytuje. Jedná se totiž o viskoelastické materiály. Kdy i vysoce krystalické polymery mají ve struktuře méně uspořádané až amorfnní oblasti, které jsou spojovány s možností viskózního (částečně vratná, ale časově zpožděná deformace) nebo plastického toku (nevratná deformace).

Mez linearity pak, vzhledem k časové závislosti viskoelastických vlastností textilních materiálů (reologických), určíme jiným způsobem (stat' 3.).

Přistupme nyní k dalšímu rozhraní, a to k **mezi kluzu** σ_k - v této oblasti působí již takové napětí, od kterého se projevuje výrazná plastická (nevratná) deformace. Pouze některé materiály mají výraznou tuto mez. Křivka vykazuje prodlevu a deformace roste při prakticky konstantním napětí. U textilních materiálů mez není výrazná.

Mez pevnosti (pevnost) σ_p - je mezní hodnota napětí, neboť po jejím překročení dochází k trvalému porušení soudržnosti materiálu (přetržení). Tento mezní stav je výsledkem předcházejících deformačních procesů namáhání. Tato mez určuje pevnost, tj. sílu do přetrhu a tažnost, deformaci do přetrhu, materiálu. [7]

Jak vyplývá z výše uvedeného, poměrem aplikovaného napětí a vzniklé deformace definujeme obecně modul jako odpor materiálu proti změně tvaru. Pro modul pružnosti **E** pak ze vztahu (8) dostáváme [7]:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \tan \alpha \quad (10)$$

Ze vztahu je zřejmé, že k dosažení deformace materiálu s vyšším modulem bude zapotřebí vyššího napětí. Tento modul pružnosti je pro kovy konstantní, nezávislý na čase.

Ze vztahů (7), (8) a (9) plyne [15]:

$$Q = \frac{E * S * \Delta l}{l} = C * \Delta l \quad \Rightarrow \quad C = \frac{Q}{\Delta l}, \quad (11)$$

kde **C** definujeme jako modul tuhosti osnovní nitě. Tato rovnost vyjadřuje závislost modulu tuhosti nitě na upínací délce. [15]

U textilních materiálů se deformace, a tedy i modul tuhosti, stále s časem mění. V počáteční fázi se projevují elastické vlastnosti, dále odezva časově závislá (viskoelastická) a v další fázi již i plastický tok (trvalá deformace).

Závislost napětí na deformaci nazýváme tedy pracovním křivkou tahu. Touto závislostí jsou charakterizovány celkové mechanické vlastnosti materiálu. Strmější křivka vypovídá o větším odporu vůči deformaci, tedy o pevné a málo houževnaté látce. To je typické pro křehké, sklovité, polymery, kde k porušení dochází bez větších deformací. Opakem jsou látky poddajnější, méně pevné s většími deformacemi, tedy materiály viskoelastické. Mezi látky s postupně klesající pevností a rostoucí houževnatostí při vysokých deformacích, a to bez potřeby zvětšování působící síly, patří pryže a kaučuky. Pro plastické materiály je typický růst plastické deformace za stálého napětí (tečení). [7]

Uvedli jsme, že při zkoušení mechanických vlastností materiálů se často sledují jednotlivé podíly deformací. Lze pak, za určitých podmínek, předpokládat chování materiálu při jeho zpracování. Proto se podívejme v následné kapitole na deformační vlastnosti materiálů.

2.2 Deformační vlastnosti

Jak bylo uvedeno, je chování nití odrazem analogických vlastností samotného vlákna. Nítě mohou být tvořeny určitým množstvím vláken (přírodními či chemickými), která jsou nejčastěji tvořena semikrystalickými polymery s oblastmi s různým stupněm upořádanosti. Mnoho vlastností je pak ovlivněno touto částečně krystalickou strukturou. Tato vlákenná struktura je tvořena svazky fibril. Ty jsou tvořeny mikrofibrilami, jenž jsou vzájemně propojeny vaznými řetězci. V mikrofibrilách se pravidelně střídají amorfní (neuspořádané) a krystalické oblasti.

Při mechanickém namáhání pod mezí kluzu (obr. 6) se krystalický podíl chová v podstatě elasticky a amorfní podíl se projevuje viskózním tokem. Textilní materiál je tedy jako celek viskoelastický a odehrávají se v něm oba typy chování současně. [14]

Mezi deformační vlastnosti textilních materiálů patří elastická, viskoelastická a plastická deformace. [7]

2.2.1 Elastická deformace

Jedná se o deformaci okamžitou, časově nezávislou a dokonale vratnou, platí uvedený Hookeův zákon (8). To znamená, že deformace okamžitě vznikají a zanikají v závislosti na rostoucí či klesající síle. Deformace se tedy odehrávají v oblasti linearity (obr. 6) při působení malých sil nebo při velmi krátkých časech měření.

Pro stálé napětí $\sigma = \sigma_0 = konst.$ je deformace časově nezávislá [7]:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} * \sigma_0, \quad (12)$$

kde σ_0 je počáteční vložené napětí.

Při deformaci nevznikají ztráty energie. Ta se nejdříve v látce akumuluje a po odlehčení je spotřebována za účelem návratu materiálu do původního stavu. Nedochází k fázovému posuvu mezi působící silou a deformací a materiál má reálný elastický modul (stať 3). [7]

2.2.2 Viskoelastická deformace

Bylo řečeno v úvodu této stati, že textilní materiály patří mezi semikrystalické. To znamená, že jejich vlastnosti tvoří přechod mezi vlastnostmi ideálních látek, tj. elastickou látkou a viskózní látkou. Pro elastickou látku platí to, co bylo uvedeno v předchozím odstavci. Viskózní látku si nyní popíšme.

Ideální viskózní materiál

Na rozdíl od ideálně elastické látky, je tato látka závislá na předchozí deformaci a je dokonale nevratná. Platí Newtonův zákon, který říká, že tečné napětí τ je lineární funkcí rychlosti smykové deformace $\dot{\gamma}$ [7]:

$$\tau = \eta * \frac{d\gamma}{dt} = \eta \dot{\gamma}, \quad (13)$$

kde γ je smyková deformace a, η dynamická viskozita, která je materiálovou konstantou nezávislou na čase a na rychlosti deformace.

Při stálém napětí $\tau = \tau_0 = \text{konst.}$ roste deformace lineárně s časem [7]:

$$\gamma(t) = \frac{1}{\eta} * \int_0^t \tau_0 dt = \frac{\tau_0}{\eta} * t, \quad (14)$$

kde τ_0 je počáteční tečné napětí.

Při deformaci dochází k disipaci (ztrátě) energie, kdy mechanická energie přechází nevratně v teplo (je úplně ztrátová). Materiál má ryze imaginární modul (stať 3).

Vlastnosti takového materiálu jsou pak přechodem mezi vlastnostmi obou ideálních látek. Pokud deformace i její rychlost bude malá, lze relaci časově závislého napětí a deformace popsat lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty. Nejjednodušší rovnice tohoto typu je kombinací Hookeova zákona, popisující pevný lineární materiál a Newtonova zákona, jenž popisuje lineární viskózní kapalinu [7]:

$$\sigma = E * \varepsilon + \eta * \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (15)$$

Tato rovnice je poněkud upravena, jelikož v Newtonově zákoně lze z hlediska makroskopického využít měřitelné veličiny, a to tahové napětí σ a podélnou deformaci ε . Vnější tahové napětí σ totiž v materiálu vyvolává tečné napětí τ , stejně tak i vnitřní smyková deformace γ se projeví jako podélná deformace ε . To znamená, že do vztahu (25), je možné namísto výrazu $d\gamma/dt$ ve vztahu (13) dosadit výraz $d\varepsilon/dt$. [7]

Pro vlastnosti viskoelastického reálného materiálu pak vytlývá, že působením síly vzniká jak okamžitá, tak i časově závislá deformace. Jedná se o vratnou deformaci a doba návratu do původního (nedeformovaného) stavu může být u některých látek velmi dlouhá.

Deformační práce se z části akumuluje a z části se mění v teplo, tzn. že se materiál po odlehčení zcela nevrací do původního nedeformovaného stavu. Malá deformace odpovídající viskóznímu toku se zachovává. Při matematickém popisu ji zanebýváme. V praxi ji však nesmíme opomenout v případě opakovaných zkoušek na témže materiálu.

Při harmonickém průběhu v dynamických měřeních je elastický modul materiálu komplexní (stať 3) a ve statických měřeních je modul závislý na čase (krípové a relaxační experimenty). [7]

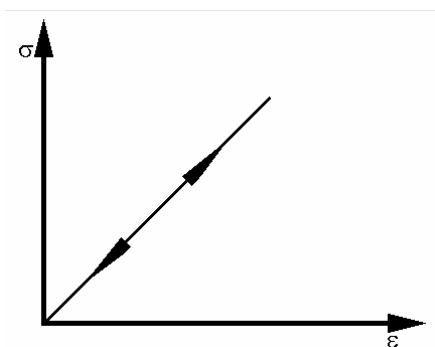
2.2.3 Plastická deformace

Je časově závislou a dokonale nevratnou deformací.

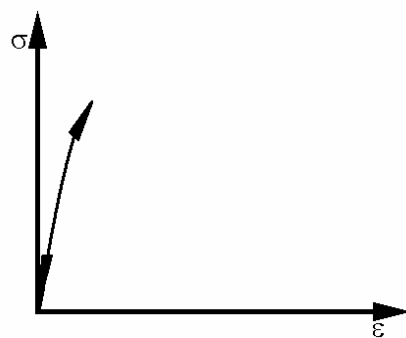
Rozlišení těchto deformací (lineárních i nelineárních) je znázorněno na následujících obrázcích jak pro statický cyklický (obr. 7 až obr. 12), tak i pro dynamický experiment (obr. 13 až obr. 17). Přičemž pro statickou zkoušku se volí zatížení menší než je mezní hodnota vzorku (nedochází k přetrhu materiálu). Dynamická zkouška probíhá kolem určité střední hodnoty napětí σ_s , jenž je dána předpětím. [7]

a) Statický cyklický experiment

Na obrázcích č. 7, č. 8 jsou znázorněny ideální elastické deformace (lineární, nelineární). Děj probíhá po stejné křivce. Ve skutečnosti však v důsledku anelastických jevů, které vznikají už při nejmenších napětích, je deformace spojena s hysterezí podobně jako viskoelastické deformace na obr. 9, obr. 10. [7]

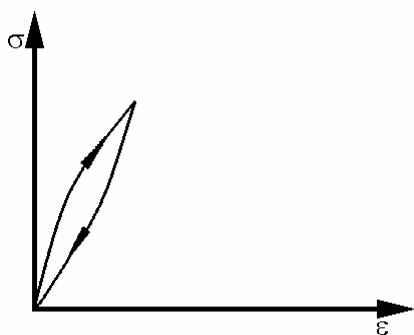


Obr. 7 Elastická lineární deformace dle [7]

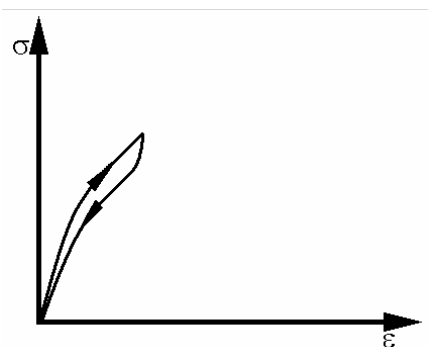


Obr. 8 Elastická nelineární deformace dle [7]

Časově závislá viskoelastická deformace probíhá, jak je znázorněno na obr. 9 a obr. 10, při zatížení po jiné čáře než při odlehčení. Dochází k hysterezi.

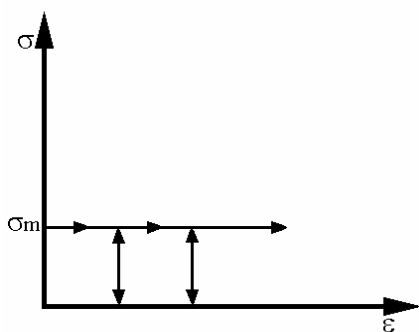


Obr. 9 Viskoelastická lineární deformace dle [7]

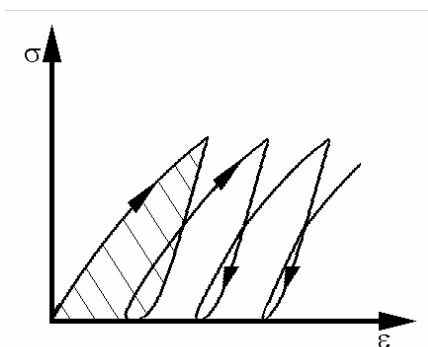


Obr. 10 Viskoelastická nelineární deformace dle [7]

Plastická deformace (obr. 11) nastane, je-li překročena jistá mez σ_m . Pokud nedojde k deformačnímu zpevnění, narůstá deformace lineárně s dobou působení síly a po odlehčení zůstává na konečné hodnotě.



Obr. 11 Plastická deformace dle [7]



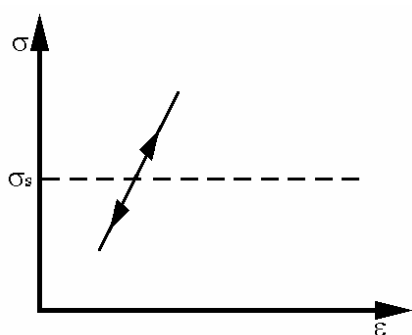
Obr. 12 Viskoplastická deformace dle [7]

U textilních materiálů je zpravidla plastická deformace doprovázena viskoelastickou deformací a plastickým tokem. Tato deformace se nazývá viskoplastickou (obr. 12) a nastává po překročení meze kluzu σ_k (obr. 6). Při mechanickém namáhání dochází u tohoto plastického přetvoření k disipaci (ztrátám) energie. Hysterezní křivka není uzavřená a plocha pod křivkou (šrafovaně) vyjadřuje míru ztráty. S opakováním cyklů se plastičnost látky vyčerpává (plocha pod křivkou se zmenšuje).

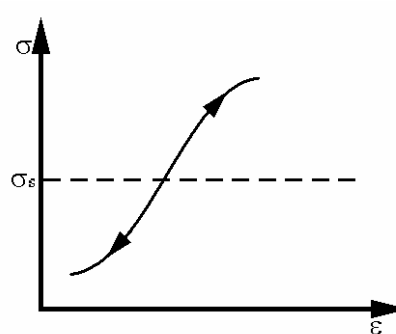
Tyto statické cyklické zkoušky dost dobře nerozlišují, zda se jedná o elastickou nebo viskoelastickou deformaci, neboť i u látek elastických (obr. 7, obr. 8), jak bylo uvedeno, vznikají ve skutečnosti v důsledku anelastických jevů malé hystereze. [7]

b) Dynamický experiment

Dynamické zkoušky jsou znázorněny na dalších obrázcích obr. 13 až obr. 18. Deformační jev čistě elastické látky (lineární, nelineární) probíhá po stejné křivce, jak ukazují obrázky obr. 13 a obr. 14. [7]

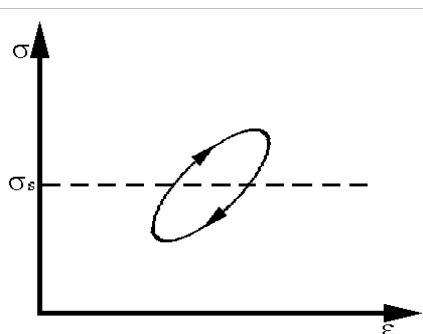


Obr. 13 Elastická lineární
deformace dle [7]

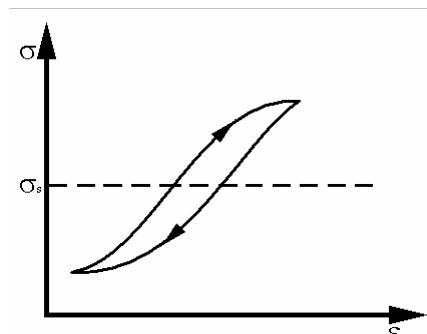


Obr. 14 Elastická lineární
deformace dle [7]

U viskoelastických materiálů se děj odehrává na uzavřené křivce (obr. 15, obr. 16). Jedná se opět o hysterezní děje.



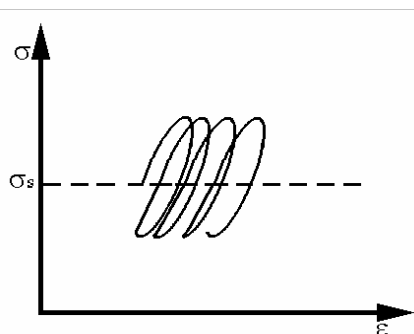
Obr. 15 Viskoelastická lineární deformace dle [7]



Obr. 16 Viskoelastická nelineární deformace dle [7]

Co se týká ideálně plastických látek, je u nich nemožné provést dynamický experiment - materiál teče.

Viskoplastický jev probíhá na otevřené křivce (obr. 17).



Obr. 17 Viskoplastická deformace dle [7]

Z výše uvedených obrázků týkajících se dynamického namáhání je zřejmé, že při dostatečné přesnosti a citlivosti dynamického experimentu lze jednoznačně rozeznat elastické jevy od viskoelastických a viskoplastických. V reálných materiálech se tyto jevy nevyskytují odděleně. Je možné nalézt oblasti namáhání, ve kterých vždy určitý typ chování látky, v závislosti na podmínkách, převládá.

Viskoelastické i viskoplastické deformace jsou z pohledu termodynamického nevratné děje, jelikož se mechanická energie nevratně mění na tepelnou. Během jednoho cyklu vznikají ztráty energie, jež jsou úměrné ploše pod křivkou. Z hlediska mechanického jsou pak viskoelastické deformace dokonale vratné (uzavřená křivka), kdežto viskoplastické jsou nevratné (křivka není uzavřená). [7]

Aby bylo možno chování materiálů při jakémkoliv jejich namáhání (experimentech) popsat a porovnávat, je nutné vytvořit určité modely charakterizující souvislosti mezi deformací, napětím a časem, příp. teplotou. Mezi takové patří reologické modely, složené z mechanických prvků, jenž modelují chování reálných materiálů a na které se zaměříme v následující kapitole. [7, 11]

3. Reologické modely

Jak bylo uvedeno, reologické modely slouží k vyjádření reologických (fyzikálně mechanických) pochodů v materiálech, především v oblasti viskoelasticity a viskoplasticity, kde je zkoumána deformace a napětí v látkách, a to nejen v jejich ustáleném stavu. Zkoumáme i časové proměny látek a také rychlost, s jakou tyto změny probíhají. Vzhledem ke složitosti probíhajících dějů, je řešení tohoto úkolu obvykle nemožné, proto reologie zavádí modely, které se snaží přibližně vystihnout charakter deformačního chování různých skupin látek s matematickým vyjádřením.[11, 15]

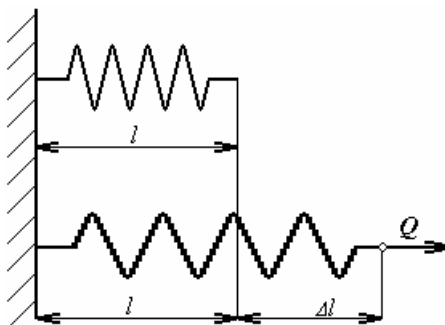
3.1 Základní reologické látky

Jednotlivé deformační vlastnosti jsou vyjádřeny reologickými modely základních látek (prvků). Pružný materiál lze např. znázornit dokonale pružným perem, plastický materiál dvěma destičkami, mezi nimiž působí tření, atd. Základní prvky jsou spíše abstrakcemi vyjadřující jednotlivé podstatné reologické vlastnosti, jenž se ve skutečnosti vyskytují zřídka. Teprve jejich skládáním (elastické, viskózní, plastické látky) dostáváme složitější modely, jimiž se můžeme přiblížit k reologickým vlastnostem skutečných látek. [16] Je známo, že mnoho látek se vyskytuje ve formě viskoelastické kombinující jak vlastnosti elasticky pevné látky, tak vlastnosti viskózní kapaliny a mezi ně patří právě i materiály textilní.

Při reologické klasifikaci se dává přednost porovnání vlastností látek při tvarové deformaci. [11]

Mezi základní reologické látky patří prvek elastický (Hookeův model), viskózní (Newtonův model), plastický (Saint Venantův model). My se zaměříme na Hookeův a Newtonův prvek a jejich kombinace.

3.1.1 Pružina – Hookeova elastická látka



Obr. 18 Ideální pružina dle [7]

Dokonalá pružina (obr. 18) se působením síly Q prodlouží z původní délky l o Δl a platí pro ni [17]:

$$Q = C * \varepsilon, \quad (16)$$

kde C je charakteristika pružiny – tuhost, též modul pružnosti pružiny. Relativní deformace pružiny (prodloužení) ε (7) je úměrná působící síle Q a ze vztahu (16) pro ni platí [17]:

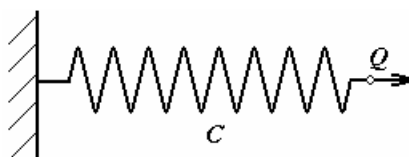
$$\varepsilon = \frac{Q}{C} \quad (17)$$

Pro ideální (lineární) elastický materiál platí Hookeův zákon (8) a ze kterého dále plyne tento vztah [17]:

$$\sigma = \varepsilon * E \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (18)$$

Deformace ε vzniká okamžitě současně s působením síly Q (napětí σ) a s časem se pak již nemění, stejně tak i modul pružnosti materiálu E nezávisí na čase. Tato lineární závislost platí při malých deformacích či rychlostech. Překročíme-li však mez linearity, dochází u elastických látek k odchylkám od této meze. Je ale zřejmé, že při vyšetřování závislosti napětí a deformace, bývá tato přímá úměra splněna v určitém omezeném, pro různé látky různě velkém intervalu napětí. [11]

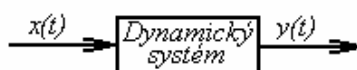
Ideální elastickou látku o modulu E můžeme tedy nahradit pružinou (obr. 19), jak plyne ze srovnání vztahů (17) a (18).



Obr. 19 Pružný element dle [7]

Při elastické deformaci se energie nejdříve akumuluje v pružině (potenciální deformační energie) a po jejím odlehčení se tato energie uvolní a beze zbytku spotřebuje na návrat pružiny do nedeformovaného stavu. [7]

Tímto jednoduchým elementem lze modelovat např. vlastnosti osnovních nití při jejich namáhání tkaním. Osnovu si tedy představíme jako pružinu.



Obr. 20 Schéma dynamického systému dle [18]

Nyní uvažujme proces tkaní jako dynamický časově invariantní systém s jedním vstupem-náhodnou funkcí $X(t)$, kterou dle určitého pravidla transformujeme a jedním výstupem-jinou náhodnou funkcí $Y(t)$ dle obr. 20. Transformaci můžeme zapsat $Y(t) = A\{X(t)\}$, kde A je operátor dynamického systému transformující vstupní náhodnou funkci $X(t)$ na výstupní náhodnou funkci $Y(t)$.

Výstup $Y(t)$ pak můžeme popsat lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty ve tvaru [19]:

$$a_n * \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} * \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 * \frac{dy(t)}{dt} + a_0 * y(t) =$$

$$b_m * \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} * \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 * \frac{dx(t)}{dt} + b_0 * x(t)$$
(19)

Při řešení takového systému se velmi často užívá tzv. Laplaceovy transformace, která převádí diferenciální rovnice na algebraické a jejichž řešení je jednodušší. Jedná se o vnější popis systému ve formě obrazového přenosu.

Proved'me nyní L-transformací diferenciální rovnice při nulových počátečních podmínkách, dostaneme [19]:

$$Y(p) * (a_n * p^n + a_{n-1} * p^{n-1} + \dots + a_1 * p + a_0) = (b_{m-1} * p^m + b_{m-1} * p^{m-1} + \dots + b_1 * p + b_0) * X(p) \quad (20)$$

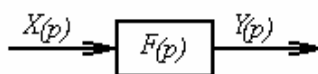
a dle definice obrazového přenosu $F(p)$ ze (20) plyne:

$$F(p) = \frac{(b_m * p^m + b_{m-1} * p^{m-1} + \dots + b_1 * p + b_0)}{(a_n * p^n + a_{n-1} * p^{n-1} + \dots + a_1 * p + a_0)} = \frac{B(p)}{A(p)}, \quad (21)$$

dále pak [19]:

$$F(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}, \quad (22)$$

kde $A(p)$, $B(p)$ jsou polynomy n a m stupně, p je komplexní proměnná, $Y(p)$ L-obraz výstupní, $X(p)$ L-obraz vstupní veličiny a jejich poměr (22) je tedy obrazový přenos $F(p)$ (obr. 21), který představuje přenos daného dynamického systému. Známe-li časový průběh vstupní veličiny $X(p)$, tedy budící funkce, lze pak pomocí obrazového přenosu $F(p)$ (obrazová přenosová funkce) vyjádřit výstupní veličinu $Y(p)$, tj. odezvu. [18]



Obr. 21 Schéma přenosu dynamického systému dle [18]

Laplaceovu transformaci použijeme tudíž pro zjištění charakteristiky-konstanty pružiny (osnovní nitě), tj. převedeme vztah (16) do operátorového tvaru a nalezneme obrazový přenos $F(p)$.

Veličiny ve vztahu (16) si označíme indexem, tj. síla pružiny bude Q_I a deformace ε_I a po přepsání dostáváme vztah [17]:

$$Q_I(t) = C * \varepsilon_I(t) \quad (23)$$

Užitím základních vztahů L-transformace [17, 18]:

$$f(t) \div F(p), \text{ resp. } y(t) \div Y(p) \Rightarrow Q_I(p) = C * \varepsilon_I(p) * p^0 \quad (24)$$

dostáváme přenos [17]:

$$F(p) = \frac{Q_I(p)}{\varepsilon_I(p)} = C, \quad (25)$$

kde výstupem je síla pružiny, vstupem její protažení a konstanta tuhosti C je tedy přenosovou funkcí $F(p)$.

V praxi se často vyskytují periodické střídavé funkce, mezi které patří např. i harmonické sinusové, popř. cosinusové funkce. I my uvažujme, že do našeho dynamického systému vstupuje harmonická funkce s jistou frekvencí. Výstupem je pak také harmonická funkce, a to se stejnou frekvencí, avšak jinou amplitudou a určitým fázovým posuvem. Takovýto systém je výhodné posoudit z hlediska frekvenčního s využitím komplexních čísel a dostáváme komplexní frekvenční přenos neboli frekvenční charakteristiku $F(j\omega)$ [19]:

$$\mathbf{F}(j\omega) = F_1(\omega) + j * F_2(\omega) = |\mathbf{F}(j\omega)| * e^{j*\varphi}, \quad (26)$$

kde $F_1(\omega)$ a $F_2(\omega)$ představují reálnou Re a imaginární Im část komplexního modulu. Frekvenční přenos $\mathbf{F}(j\omega)$ je tedy komplexním modulem, jehož hodnota určuje vzájemnou polohu bodů v komplexní rovině daných harmonických průběhů, a to při stálé úhlové frekvenci ω . [19]

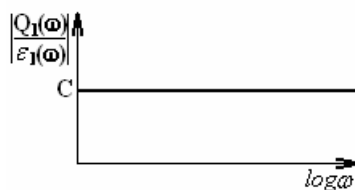
Dle definice dostáváme tedy frekvenční přenos pro **pružný prvek** ve tvaru [17]:

$$\mathbf{F}(j\omega) = \frac{Q_1(\omega) * e^{j*(\omega*t + \varphi)}}{\varepsilon_1(\omega) * e^{j*\omega*t}} = \frac{Q_1(\omega)}{\varepsilon_1(\omega)} * e^{j*\varphi}, \quad (27)$$

kde fázový posuv φ je roven nule a vztah (27) přejde na vztah [17]:

$$\mathbf{F}(j\omega) = \frac{Q_1(\omega)}{\varepsilon_1(\omega)} \quad (28)$$

Tato komplexní funkce $\mathbf{F}(j\omega)$ tedy udává, jak se mění amplituda a fáze výstupních kmitů v závislosti na frekvenci, udržujeme-li amplitudu vstupních kmitů konstantní. [19]



Obr. 22 Amplitudová charakteristika – pružina dle [17]

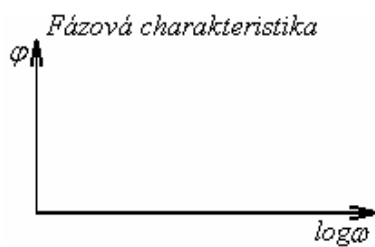
Velikost tohoto přenosu $|\mathbf{F}(j\omega)|$, poměr amplitud výstupu a vstupu, lze znázornit amplitudovou charakteristikou (obr. 22) a je dán vztahem [17]:

$$|\mathbf{F}(j\omega)| = \sqrt{F_1(\omega)^2 + F_2(\omega)^2} = \frac{Q_1(\omega)}{\varepsilon_1(\omega)} \Rightarrow |\mathbf{F}(j\omega)| = \sqrt{C^2 + 0} = C \quad (29)$$

Z výše uvedeného je patrné, že velikost frekvenční charakteristiky $|F(j\omega)|$ se nemění, je konstantní, při rostoucí frekvenci ω .

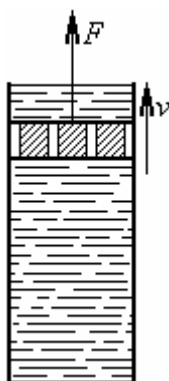
Deformace ε_I a síla Q_I jsou v tomto případě (elastický materiál) ve fázi, jak ukazuje fázová charakteristika (obr. 23), nedochází tedy k fázovému posuvu φ [17]:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_2(\omega)}{F_1(\omega)} = \frac{0}{c} \Rightarrow \varphi = 0 \quad (30)$$



Obr. 23 Fázová charakteristika – pružina dle [17]

3.1.2 Viskózní element - Newtonova vazká kapalina



Obr. 24 Ideální píst dle [7]

Je představován jako píst s otvory (obr. 24) pohybující se ve válci s kapalinou, která jimi protéká a klade pohybu odpor vzrůstající přímočaře s rychlostí dle zákona vazkého pohybu (13). [16] Pohyb je vyvolán působící silou Q na plochu S a je úměrná rychlosti v , se kterou se píst pohybuje [17]:

$$Q = b * v, \quad (31)$$

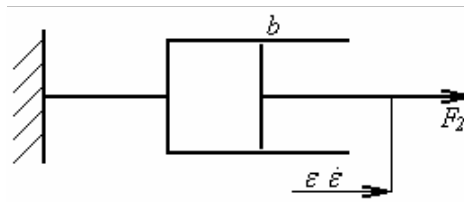
kde b je útlumová konstanta (tlumič).

Pro vazkou látku mezi napětím σ , které je silou Q vyvoláno a rychlostí deformace $\dot{\epsilon}$ platí lineární vztah Newtonův zákon [17]:

$$\sigma = \eta * \dot{\epsilon} = \eta * \frac{d\epsilon}{dt}, \quad (32)$$

kde η je dynamická viskozita - odpor, který látka klade při proudění kapaliny a způsobuje tečné napětí τ . Tento odpor je vnitřní tření v kapalině závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi (mikroskopické hledisko).

Píst se ve viskózní kapalině pod vlivem napětí (síly) pohybuje, a to po celou dobu, po kterou toto napětí působí. Hydrostatický tlak ve válci způsobuje změnu objemu a vazká kapalina mu klade podobný odpor jako pružná látka (pružina) při jejím natahování. Je tedy třeba dodat takovou energii, aby překonala toto vnitřní tření kapaliny. Z energetického hlediska se jedná o deformační děj zcela ztrátový. Veškerá energie je spotřebována a po odlehčení se poloha pístu již nemění, nemá tedy energii k návratu do původního stavu. [7, 10]



Obr. 25 Viskózní element dle [7]

Pro řešení opět použijeme Laplaceovy transformace. Na obr. 25 je schéma viskózního elementu (pístu). Ze vztahu (31), kde rychlost deformace je [17]:

$$v = \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (33)$$

plyne, že síla není přímo závislá pouze na dráze, resp. deformaci, jako u pružné látky, ale je přímo úměrná rychlosti deformace. Pomocí L-transformace vztah (31), kde sílu Q a rychlost deformace $\dot{\varepsilon}$ označíme opět indexem a dostaneme tak Q_2 a ε_2 ; převedeme do operátorového tvaru [17]:

$$\dot{\varepsilon}_2(t) \div p * \varepsilon_2(p) \Rightarrow Q_2(p) = b * p * \varepsilon_2(p) \quad (34)$$

Obrazový přenos $F(p)$ je pak následující [17]:

$$F(p) = \frac{Q_2(p)}{\varepsilon_2(p)} = b * p, \quad (35)$$

kde výstupem je síla potřebná k pohybu pístu a vstupem deformace (posunutí pístu).

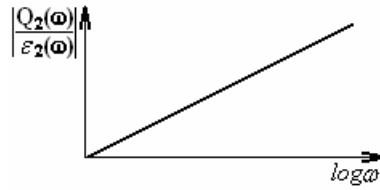
Pro frekvenční charakteristiku $F(j\omega)$ tohoto prvku dostáváme [17]:

$$F(j\omega) = \frac{Q_2(\omega) * e^{j*(\omega*t+\varphi)}}{\varepsilon_2(\omega) * e^{j*\omega*t}} = \frac{Q_2(\omega)}{\varepsilon_2(\omega)} * e^{j*\varphi}, \quad (36)$$

U tohoto prvku dochází ke zpoždění deformace za působící silou o úhel $\pi/2$. Po dosazení tohoto úhlu do (36) vyplývá [17]:

$$F(j\omega) = \frac{Q_2(\omega)}{\varepsilon_2(\omega)} * j, \quad (37)$$

kde $j = e^{j*\pi/2}$



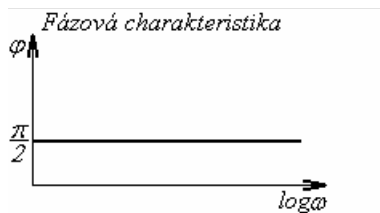
Obr. 26 Amplitudová charakteristika – píst dle [17]

Pro velikost přenosu $|F(j\omega)|$, který roste lineárně s frekvencí ω , jak je znázorněno amplitudovou charakteristikou na obr. 26, pak plyne [17]:

$$|F(j\omega)| = \frac{Q_2(\omega)}{\varepsilon_2(\omega)} = \sqrt{0 + (b * \omega)^2} = b * \omega \quad (38)$$

Fázový posuv φ (obr. 27) vypočítáme jako [17]:

$$\sin \varphi = \frac{F_2(\omega)}{F_1(\omega)} \Rightarrow \varphi = \arcsin \frac{b * \omega}{b * \omega} = 1 \Rightarrow \varphi = \frac{\pi}{2} \quad (39)$$



Obr. 27 Fázová charakteristika – píst dle [17]

Z výše uvedených vztahů je vidět, že u viskózního materiálu dochází k fázovému posuvu mezi silou Q_2 a deformací ε_2 , která při konstantní síle roste lineárně s časem a je za působící silou opožděná o 90° .

Uvedli jsme dva reologické elementy popisující elastickou a viskózní látku. Jak jsme však již zmiňovali, většina textilních materiálů je viskoelastických a v závislosti na podmínkách namáhání pak mohou vykazovat různá chování. Tyto látky leží na pomezí mezi kapalinami a pevnými látkami, proto je nutné zavést modely kombinující vlastnosti obou druhů látek. Nejjednodušší modely těchto viskoelastických látek vzniknou kombinací hookeovského a newtonovského elementu, a to sériovým nebo paralelním zapojením. Pokud půjde o sériové spojení jednoduchých látek-Maxwellův model, sčítají se deformace a jejich rychlosti, napětí jsou na elementech stejná. Je-li zapojení paralelní-Kelvinův (Voigtův) model, pak se sčítají napětí, deformace a deformační rychlosti jsou stejné. Dalším často používaným

víceparametrovým zapojením je standardní model.[11] Nyní si některá zapojení postupně popíšeme.

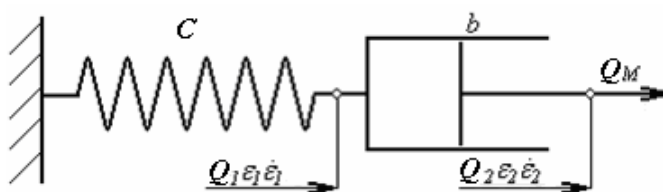
3.2 Nejjednodušší základní spojení reologických elementů

Tyto modely lze aplikovat při vyšších rychlostech namáhání a lze jimi simulovat např. frekvenci zvedání listů při tvorbě prošlupu. Pro řešení použijeme jednak zmiňovanou Laplaceovu transformaci a jednak metodu uvolnění pro získání jednotlivých působících sil. [17]

3.2.1 Viskoelastické látky

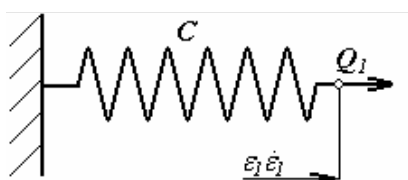
U těchto látek závisí stav napětí a deformace na čase, tzn. i na rychlosti působící síly. Při spojení pružné a viskózní látky za sebou dostáváme tzv. Maxwellův model (obr 28). [7]

a) Maxwellův model

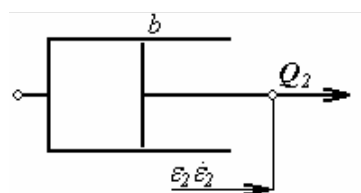


Obr. 28 Maxwellův model dle [17]

Pro pružný prvek platí rovnice (24), pro viskózní prvek rovnice (34). Model na obr. 28 rozložíme na pružinu (obr. 29) a píst (obr. 30).



Obr. 29 Pružina – 1. člen dle [17]



Obr. 30 Píst – 2. člen dle [17]

Do vztahu (31) pro tlumič, kde jsme si posléze sílu Q označili jako Q_2 , dosadíme výslednou rychlost deformace $\dot{\epsilon}$ (33) vyplývající z obou reologických elementů [17]:

$$v = \dot{\epsilon} = (\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1) \Rightarrow Q_2 = b^*(\dot{\epsilon}_2 - \dot{\epsilon}_1). \quad (40)$$

Síla Q_2 působící na tlumič po převodu do operátorového tvaru je [17]:

$$Q_2(p) = b^*[p^* \epsilon_2(p) - p^* \epsilon_1(p)]. \quad (41)$$

Pro sílu pružiny Q_1 platí vztah (24), ze kterého si vyjádříme deformace $\varepsilon_1(p)$ a dosadíme do (41) [17]:

$$\varepsilon_1(p) = \frac{Q_1(p)}{c} \Rightarrow Q_2(p) = b * p * \left[\varepsilon_M(p) - \frac{Q_1(p)}{c} \right], \quad (42)$$

kde $\varepsilon_2(p)$ označíme jako $\varepsilon_M(p)$.

Jelikož jsou elementy zapojeny do série, působí na ně stejně velká síla, kterou si označíme Q_M , tedy [17]:

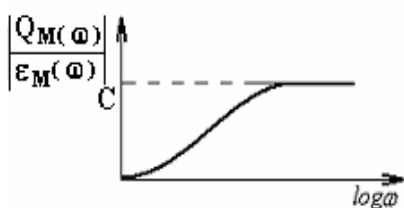
$$Q_1 = Q_2 = Q_M \quad (43)$$

a po dosazení do (42) a úpravě vyplývá pro přenos $F(p)$ [17]:

$$F(p) = \frac{Q_M(p)}{\varepsilon_M(p)} = \frac{p * c}{p + c/b}. \quad (44)$$

Frekvenční charakteristika $F(j\omega)$ [17]:

$$F(j\omega) = \frac{Q_M(\omega)}{\varepsilon_M(\omega)} * e^{j*\varphi} \quad (45)$$



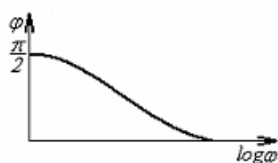
Obr. 31 Amplitudová charakteristika – Maxwellův model dle [17]

Velikost frekvenčního přenosu $|F(j\omega)|$ (obr. 31) je po úpravě [17]:

$$|F(j\omega)| = \frac{Q_M(\omega)}{\varepsilon_M(\omega)} = \frac{c * \omega}{\sqrt{\omega^2 + (c/b)^2}} \quad (46)$$

a fázový posun φ , jenž je závislý na frekvenci (obr. 32), je roven [17]:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_2(\omega)}{F_1(\omega)} = \frac{(c^2/b) * \omega}{\omega^2 * c} = \frac{c}{b * \omega} \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} \frac{c}{b * \omega} \quad (47)$$

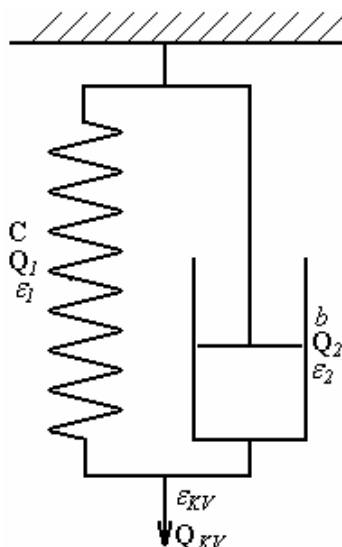


Obr. 32 Fázová charakteristika – Maxwellův model dle [17]

U elastického prvku předpokládáme, že elastická deformace po odlehčení ihned vymizí tedy, že změny deformace bezprostředně sledují změny napětí. Časová závislost vztahu deformace a napětí vazkého prvku mají vztah jako funkce a její derivace, např. stálé deformaci odpovídá nulové napětí nebo stálému napětí odpovídá deformace zvětšující se konstantní rychlostí (lineárně rostoucí deformace pístu), deformace je časově závislá. Pokud na takový systém bude působit vnější síla velmi rychle ($t \rightarrow 0$), resp. frekvence namáhání budou vysoké, uvede se v činnost prakticky pouze pružina, neboť tlumící jednotka se nestačí v tak krátkém čase přizpůsobit vnějšímu působení síly. Maxwellův model se v tomto případě bude chovat jako samostatná pružina a deformace materiálu bude probíhat podle Hookova zákona (zákona pružnosti). Jestliže působící vnější síla bude dlouhodobá ($t \rightarrow \infty$), pak se naopak reologický model bude chovat spíše jako element viskózní a deformace materiálu bude nekonečně velká, což však neodpovídá skutečnosti. [11, 14]

Fázové posunutí je tedy závislé na způsobu namáhání, resp. frekvenci, kdy při nízkých frekvencích se deformace zpožďuje za působící silou, při postupně zvyšujících se frekvencích jsou veličiny ve fázi [14]. Další model, aproximující chování materiálu při mechanickém namáhání, je Kelvinův – Voigtův model.

b) Kelvinův (Voigtův) model



Obr. 33 Kelvinův model dle [17]

Tento model také získáme zapojením viskózního a pružného prvku, a to paralelně (obr. 33). Rozdíl pak oproti předcházejícímu Maxwellovu modelu spočívá v tom, že oba elementy nejsou při působení síly podrobeny stejnému napětí. Výsledná síla, kterou označíme Q_{KV} , je pak součtem sil na jednotlivých elementech čili [17]:

$$Q_{KV} = Q_1 + Q_2, \quad (48)$$

kde Q_1 je síla pružiny (23) a Q_2 síla tlumiče (34).

Použitím L-transformace pro sílu Q_{KV} dostáváme [17]:

$$Q_{KV}(p) = c * \varepsilon_1(p) + b * p * \varepsilon_2(p) \quad (49)$$

Naopak deformace ε_{KV} na obou prvcích je stejná a konečná, tj [17]:

$$\varepsilon_{KV} = \varepsilon_1 = \varepsilon_2. \quad (50)$$

Dosažením rovnosti (50) do (49) a po úpravě vyplývá pro přenosovou funkci $F(p)$ [17]:

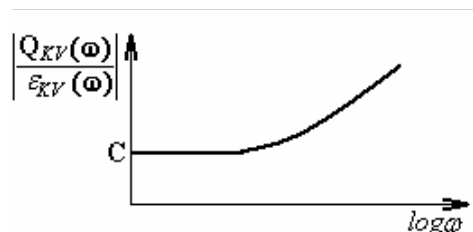
$$F(p) = \frac{Q_{KV}(p)}{\varepsilon_{KV}(p)} = c + b * p \quad (51)$$

Pro frekvenční přenos $F(j\omega)$ plyne [17]:

$$F(j\omega) = \frac{Q_{KV}(\omega)}{\varepsilon_{KV}(\omega)} * e^{j^*\varphi} \quad (52)$$

Velikost frekvenčního přenosu $|F(j\omega)|$ (obr. 34):

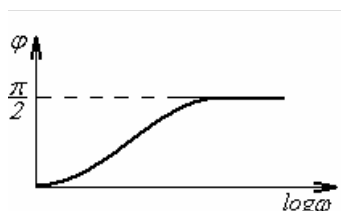
$$|F(j\omega)| = \frac{Q_{KV}(\omega)}{\varepsilon_{KV}(\omega)} = \sqrt{c^2 + (b * \omega)^2} \quad (53)$$



Obr. 34 Amplitudová charakteristika – Kelvinův model dle [17]

Pro fázové posunutí φ (obr. 35) pak plyne:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_2(\omega)}{F_1(\omega)} \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} \frac{b * \omega}{c} \quad (54)$$



Obr. 35 Fázová charakteristika – Kelvinův model dle [17]

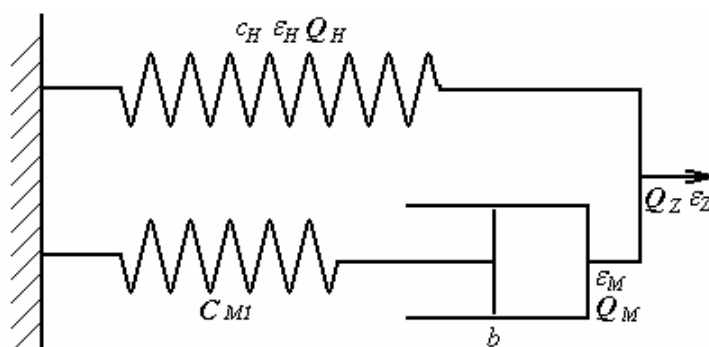
Jak již bylo řečeno, výsledné napětí, resp. působící síla se skládá z pružné složky, jenž nezávisí na rychlosti deformace a ze složky viskózní, která je přímo úměrná této rychlosti. To znamená, že při minimální rychlosti deformace (nízké frekvenci) nastává téměř pružný stav a fázové posunutí (54) se blíží k nule. Naopak při rychlostech (frekvencích) různých od nuly je počátek deformace posunut o hodnotu odpovídající viskózní složce působící síly, která s rostoucí rychlostí brání pohybu pístu a dochází k fázovému posuvu. Podle frekvence převládá tedy buď vliv pružiny nebo tlumiče.

Z obou modelů vyplývá, že nevystihují plně chování viskoelastického materiálu. U Maxwellova modulu by docházelo, díky viskóznímu členu, při stálém působení síly k nekonečné deformaci, což neodpovídá realitě. Kelvinův – Voigtův model nepůjde natáhnout. Proto byly navrženy i složitější modely, kde je zapojeno více pružných i viskózních jednotek, kdy každá z nich je definována svým modulem pružnosti C a svou viskozitou b . Jedná se o modely víceparametrové [14].

3.3 Víceparametrové modely - standardní model

Model je složen ze dvou pružných a jedné viskózní látky. Patří tedy mezi víceparametrové modely. Existuje ve dvojím provedení, a to model Burgerův a Zenerův. Jedná se buď o sériové řazení Kelvinova modelu s pružinou (Burgerův model) nebo o paralelní zapojení Maxwelllova modelu s pružinou (Zenerův), který si nyní ukážeme (obr. 36). [14]

a) Zenerův model



Obr. 36 Zenerův model dle [17]

Vzniká paralelním spojením Maxwelllova modelu a pružného elementu. V obou paralelně zapojených větvích modelu je deformace stejná [17]:

$$\varepsilon_Z = \varepsilon_M = \varepsilon_H, \quad (55)$$

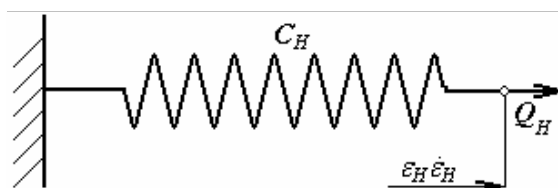
kde ε_Z je výsledná deformace Zenerova modelu, ε_H a ε_M jsou deformace v jednotlivých větvích modelu, tedy pružiny a Maxwelllova zapojení.

Výsledná síla Q_Z (obr. 36) je součtem sil obou větví modelu [17]:

$$Q_Z = Q_M + Q_H. \quad (56)$$

Postup řešení provedeme jako v předešlém případě:

- **Pružina (samostatný prvek)**



Obr. 37 Hookeův prvek dle [17]

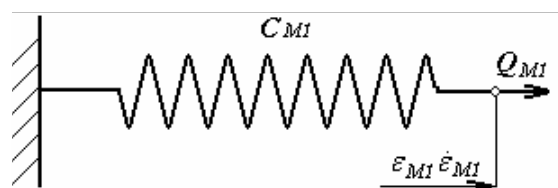
Pro pružinu (obr. 37) platí vztah (16) (s označením jednotlivých veličin indexem H) [17]:

$$Q_H = C_H * \varepsilon_H \quad (57)$$

a po převedení do operátorového tvaru dostaneme [17]:

$$Q_H(p) = C_H * \varepsilon_H(p) * p^0. \quad (58)$$

- **Pružina (první člen Maxwellova modelu)**

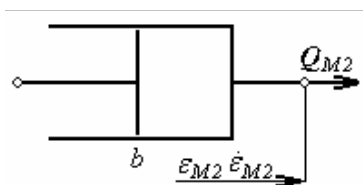


Obr. 38 První člen Maxwellova modelu dle [17]

Pro tuto pružinu (obr. 38) platí také (24), s označením veličin indexem M1 [17]:

$$Q_{M1}(p) = c_{M1} * \varepsilon_{M1}(p) * p^0. \quad (59)$$

- **Tlumič (druhý člen Maxwellova modelu)**



Obr. 39 Druhý člen Maxwellova modelu dle [17]

Operátorový tvar pro tlumič (obr. 39) v Maxwellově modelu je charakterizován rovnicí (41) s indexem M1, M2 [17]:

$$Q_{M2}(p) = b * [p * \varepsilon_{M2}(p) - p * \varepsilon_{M1}(p)] \quad (60)$$

Ze vztahu (59) vyjádříme deformaci $\varepsilon_{M1}(p)$ a dosadíme do (60) [17]:

$$\varepsilon_{M1}(p) = \frac{Q_{M1}(p)}{c_{M1}} \Rightarrow Q_{M2}(p) = b * \left[p * \varepsilon_{M2}(p) - p * \frac{Q_{M1}(p)}{c_{M1}} \right] \quad (61)$$

Jak bylo uvedeno v Maxwellově modelu, je v sériovém zapojení síla působící na jednotlivé elementy stejná a platí tedy rovnost (43) s příslušnými indexy [17]:

$$Q_{M1} = Q_{M2} = Q_M \quad (62)$$

Dosazením (62) do (61), převedením do operátorového tvaru a po úpravě vyplyne pro sílu $Q_M(p)$ [17]:

$$Q_M(p) = \frac{c_{M1} * p}{p + c_{M1}/b} * \varepsilon_{M2}(p) \quad (63)$$

Nyní máme výslednou sílu $Q_M(p)$ sériového zapojení v Zenerově modelu, kterou sečteme se silou samotné pružiny $Q_H(p)$ (57), neboť se jedná o paralelní zapojení čili [17]:

$$Q_Z(p) = Q_H(p) + Q_M(p) \quad (64)$$

Deformace v jednotlivých větvích se v tomto zapojení rovnají:

$$\varepsilon_M(p) = \varepsilon_H(p) = \varepsilon_Z(p) \quad (65)$$

Po dosazení vztahů (57), (63), (65) do rovnice (64) plyne po úpravě pro přenosovou funkci $F(p)$ [17]:

$$F(p) = \frac{Q_Z(p)}{\varepsilon_Z(p)} = \frac{c_{M1} * p}{c_{M1}/b + p} + c_H. \quad (66)$$

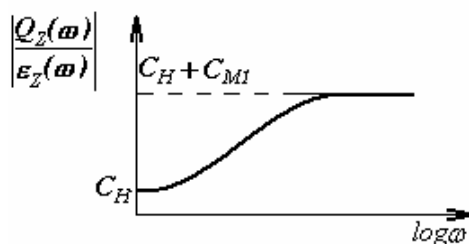
Frekvenční přenos $F(j\omega)$ je opět ve tvaru [17]:

$$\mathbf{F}(j\omega) = \frac{Q_Z(\omega)}{\varepsilon_Z(\omega)} * e^{j*\varphi} \quad (67)$$

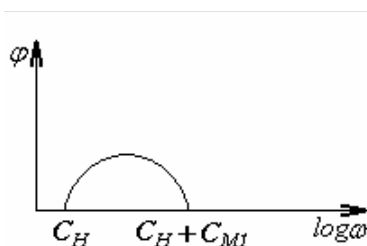
Pro jeho velikost $|\mathbf{F}(j\omega)|$ (obr. 40) a fázový posuv φ (obr. 41) po úpravě vyplývají vztahy [17]:

$$|\mathbf{F}(j\omega)| = \frac{Q_Z(\omega)}{\varepsilon_Z(\omega)} = \sqrt{\frac{(c_{M1} + c_H)^2 * \omega^2 + (c_{M1} * c_H / b)^2}{\omega^2 + (c_{M1}/b)^2}}, \quad (68)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_2(\omega)}{F_1(\omega)} \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} \frac{(c_{M1}^2 / b) * \omega}{(c_{M1}^2 * c_H / b^2) + (c_{M1} + c_H) * \omega^2}. \quad (69)$$



Obr. 40 Amplitudová charakteristika – Zenerův model dle [17]



Obr. 41 Fázová charakteristika – Zenerův model dle [17]

V tomto modelu, jak je vidět z obr. 40, dochází při malých rychlostech namáhání (frekvencích) k deformaci samotné pružiny o tuhosti C_H . Viskózní člen v druhé větvi neklade téměř žádný odpor, oddává se působení síly (posouvá se). Nedochází tedy k přetváření pružiny o tuhosti C_{M1} , která je v zapojení s viskózním členem. Teprve se zvyšující se rychlostí vzniká ve viskózním elementu větší napětí a klade tak i větší odpor proti jeho posunutí. Při vysokých rychlostech deformace se pak tlumič chová jako tuhé těleso a tudíž se veškerá deformace ve větvi, ve které je spojen s pružinou C_{M1} , přenáší právě na tuto pružinu. [14]

Další víceparametrové modely jsou tzv. zobecněné modely, jenž jsou složeny z více Maxwellových elementů vedle sebe či z více Kelvin – Voigtových elementů za sebou o různých parametrech. Těmi se můžeme ještě více přiblížit chování viskoelastických látek. Jejich i další řešení různých látek jsou uvedeny např. v literatuře. [16] Další modelování je možné i s uvažováním hmotnosti, kterou však u nití zanedbáváme.

Různě sestavenými reologickými modely, jak bylo uvedeno, se snažíme popsat zkoušení materiálů. Ty mohou být zatíženy skokově a je třeba, aby napěťové i deformační odezvy na průběh deformace či napětí se blížily k určité hodnotě. Je totiž zřejmé, že není možná nekonečná deformace nebo nekonečné namáhání materiálu. V takovém případě by nastala jeho destrukce (přetrh). Pokud se ovšem nejedná

o jednorázovou zkoušku jako např. o tahovou zkoušku do přetrhu (viz obr. 6), kdy je materiál námáhán konstantní rychlostí a ze které se určují ultimativní charakteristiky.

V praxi jsou však mnohem častěji materiály namáhány ne jednorázově, nýbrž opakovaně. O periodickém namáhání jsme se již zmiňovali a víme, že materiál je tedy opakovaně namáhán určitou, leckdy vysokou, frekvencí. V reálném procesu je toto namáhání neperiodické. Přesto se však podívejme i na periodické, jelikož i to poskytne cenné informace. [7, 14]

4. Periodické namáhání materiálu

Mechanickými vlastnostmi při periodickém namáhání rozumíme takové, jenž se měří za podmínky, kdy se podnět, síla nebo deformace, v čase periodicky mění. Dochází tedy k pravidelnému nárůstu a poklesu napětí a síly, a to s prodlevami či bez (polocyklické). Toto namáhání může být realizováno v pomalém režimu (relaxace napětí, kríp či postupně zvyšující se úroveň napětí, případně až přetrh) nebo v rychlém režimu, tedy dynamicky. [13]

Při dynamickém namáhání působící síla roste od nuly do maxima a zpět a poté roste opět do maxima, ale v opačném směru. Tento cykl se odehrává bez prodlevy. Deformace, způsobená touto opakující se silou, je po určité počáteční době rovněž periodická, jak je vysvětleno v literatuře. [14] Periodické změny lze v nejjednodušším případě vyjádřit kosinusovými nebo sinusovými kmity. Jedná se tedy o kmitavý periodický pohyb rozložitelný v řadu dílčích harmonických kmitání základní frekvence a jejich vyšších harmonických kmitání. [7]

4.1 Deformace nitě s harmonickým průběhem (viskoelastický materiál)

Jak bylo již několikrát zmíněno, ideální pružina i píst představují dva mezní případy ideálního chování materiálu. Pružina odpovídá elastické látce, přičemž síla je ve fázi s deformací a její amplituda není závislá na frekvenci. Naproti tomu u tlumiče, modelujícího newtonskou viskózní látku, síla a deformace jsou fázově posunuty, a to o úhel $\pi/2$. Amplituda síly v tomto případě roste lineárně s frekvencí.

Osnovní nitě však nejsou ani dokonale pružné a ani viskózní materiály. Jsou viskoelastické. To pak má za následek, že se protažení nitě (deformace) více či méně zpožďuje, resp. předchází za silou o ztrátový úhel φ . [7]

Uvažujme nyní, že na osnovní nit necháme působit nejjednodušší periodické namáhání, tj. měnící se s časem dle sinusového průběhu a pro ukázkou a jednoduchost uvažujme Maxwellův model, přestože bychom jím nemohli modelovat chování osnovní nitě, jak již bylo řečeno.

Vybuzení harmonicky proměnou deformací $\varepsilon_M(t)$ je následující [17]:

$$\varepsilon_M(t) = \varepsilon_{0M} \sin(\omega * t), \quad (70)$$

kde ε_{0M} je amplituda deformace, ω úhlová frekvence a t čas.

Po převedení tohoto vztahu L-transformací dostáváme [17]:

$$\varepsilon_M(p) = \varepsilon_{0M} * \frac{\omega}{\omega^2 + p^2} \quad (71)$$

Pro Maxwellův model byl uveden vztah (44) [17]:

$$F(p) = \frac{Q_M(p)}{\varepsilon_M(p)} = \frac{p * c}{p + C/b}$$

Po úpravě a s dosazením vztahu (71) do (44) plyne pro odezvu (sílu) $Q_M(p)$ [17]:

$$Q_M(p) = \frac{p * C}{p + \frac{C}{b}} * \varepsilon_{0M} * \frac{\omega}{p^2 + \omega^2} \quad (72)$$

Převodem síly $Q_M(t)$ zpět do časové oblasti dostáváme [17]:

$$Q_M(t) = \frac{\varepsilon_{0M} * \omega * b * C * \left[-C * e^{((-C/b)*t)} + C * \cos(\omega * t) + b * \omega * \sin(\omega * t) \right]}{C^2 + b^2 * \omega} \quad (73)$$

Tuto odezvu bychom vypočítali zpětnou transformací racionálně lomené funkce, a to rozkladem na parciální zlomky. [18] Vzhledem k časově náročnému výpočtu, bylo využito programu Mathematica 6 pro konečný výsledek.

Je známo, že součtem harmonických funkcí se stejnou frekvencí ω , vzniká opět harmonická funkce s totožnou frekvencí s výslednou amplitudou A a určitým fázovým posuvem φ [19]:

$$A * \sin(\omega * t - \varphi) = A_1 * \sin(\omega * t) + A_2 * \cos(\omega * t), \quad (74)$$

kde A_1 a A_2 jsou amplitudy jednotlivých harmonických funkcí.

Velikost výsledné amplitudy A je pak rovna [19]:

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2} \quad (75)$$

a fázový posuv vypočítáme [19]:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_2}{A_1} \quad (76)$$

Ze vztahu (73) vyplývají pak jednotlivé amplitudy [17]:

$$A_1 = b * \omega \quad a \quad A_2 = C \quad (77)$$

Tyto výrazy dosadíme pak do (75), (76) a získáme amplitudu A výsledné harmonické funkce a její fázové posunutí φ .

Vztah (73) dále vyjádříme [17]:

$$Q_M(t) = \frac{\varepsilon_{0M} * \omega * b * C}{C^2 + b^2 * \omega} \left[-C * e^{((-C/b)*t)} + A * \sin(\omega * t - \varphi) \right] \quad (78)$$

Exponenciální funkce v tomto vztahu představuje tzv. přechodový děj, jenž s narůstajícím časem ($t \rightarrow \infty$) odezní. Poté je závislost síly na čase vyjádřena harmonickou funkcí [17]:

$$Q_M(t) = \frac{\varepsilon_{0M} * \omega * b * C}{C^2 + b^2 * \omega} \left[\sqrt{C^2 + b^2 * \omega^2} * \sin(\omega * t - \varphi) \right] \quad (79)$$

Tato síla, odezva, je vůči budící funkci, deformaci, posunuta o fázové posunutí φ . To závisí na frekvenci ω buzení a je také určeno vnitřními parametry dynamického systému [17]:

$$\varphi = \arctg \frac{c}{b * \omega} \quad (80)$$

Takto bychom postupovali u všech reologických modelů.

V dynamickém namáhání je poměrem amplitud výstupní a vstupní funkce, tedy síly a deformace, definován absolutní dynamický modul E_0 . Tento modul je závislý na čase, resp. na frekvenci namáhání. [14] Tedy:

$$E_0 = \frac{Q_{01}}{\varepsilon_{01}}, \quad (81)$$

kde Q_{01} a ε_{01} jsou amplitudy (absolutní velikosti) síly a deformace. A dle literatury [14] jím lze popsat dynamické chování textilních materiálů (nití).

Jak bylo řečeno ve stati 4., při periodickém průběhu namáhání hodnoty síly, a stejně tak protažení, rostou od nuly do maxima a zpět a dále opět do maxima, ale v opačném směru. Amplitudy síly a deformace jsou pak dány [15]:

$$Q_{01} = \frac{Q_{\max}}{2} \quad a \quad \varepsilon_{01} = \frac{\varepsilon_{\max}}{2} \quad (82)$$

A absolutní dynamický modul (81) lze vyjádřit [15]:

$$E_0 = \frac{Q_{\max}}{\varepsilon_{\max}} \quad (83)$$

Pokud bude docházet mezi působící silou a deformací více či méně ke zpoždění, bude dynamický modul závislý na frekvenci a dochází také k hysterezi H , o které jsme se již zmiňovali. Jedná se o tzv. komplexní modul, lze jej pak znázornit v komplexní rovině a rozlišit na dvě složky, reálnou E_1 a imaginární E_2 , tj. [14]:

$$E_1 = E_0 * \cos \varphi \quad a \quad E_2 = E_0 * \sin \varphi \quad (84)$$

Pro velikost a fázový posuv (ztrátový úhel) modulu pak plyne [14]:

$$E_0 = \sqrt{(E_1^2 + E_2^2)} \quad a \quad \varphi = \arctg \frac{E_2}{E_1} \quad (85)$$

Hysterezi mechanických vlastností lze vypočítat dle vztahu [11]:

$$H = \varepsilon_0^2 * E_2(\omega) * \pi, \quad (86)$$

odvození je uvedeno v uvedené literatuře.

Dále ze vztahů (81) a (84) plyne [11]:

$$E_2(\omega) = E_0 * \sin \varphi = \frac{Q_0}{\varepsilon_0} * \sin \varphi \quad (87)$$

Pro fázový posuv ze vztahů (86), (87) dostáváme [11]:

$$\varphi = \arcsin \frac{H}{\varepsilon_0 * Q_0 * \pi} \quad (88)$$

a s dosazením (82) [15]:

$$\varphi = \arcsin \frac{H}{\frac{\varepsilon_{\max}}{2} * \frac{Q_{\max}}{2} * \pi} \quad (89)$$

Z hystereze mechanických vlastností a z fázového posuvu při periodickém namáhání je možné předpokládat typ deformačního chování materiálu.

5. Experimentální část

Úkolem diplomové práce je zpracovat analýzu vlivu tkací frekvence a upínací délky osnovní nitě se zaměřením na deformační vlastnosti nitě při otevírání prošlupu.

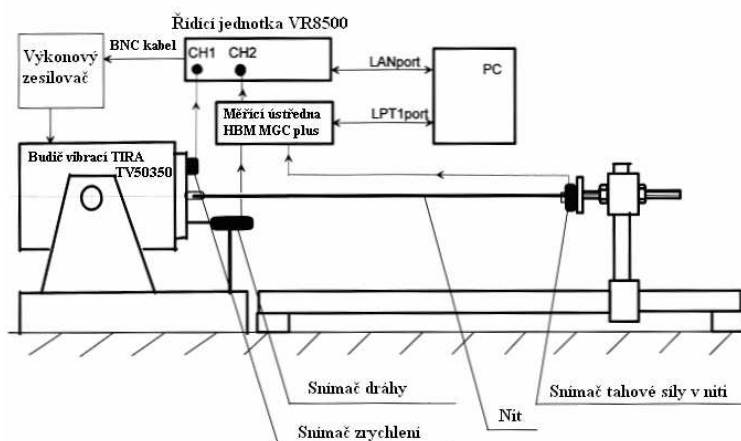
Při vyšších rychlostech tkaní je nutné analyzovat nejen jednotlivé mechanismy stroje, ale i chování textilního materiálu, jak již bylo řečeno v úvodu této práce. Tudíž se v této experimentální části pokusíme stanovit deformační vlastnosti nitě, které pocházejí z teoretických předpokladů.

5.1 Použité zařízení

Pro simulaci namáhání osnovy procesem tkaní bylo použito speciálního vibračního zařízení (obr. 42, obr. 43). Toto zařízení díky elektromagnetickému vibračnímu systému (budič vibrací) umožňuje protažení nitě s frekvencí odpovídající skutečné frekvenci protažení při procesu tkaní.



Obr. 42 Speciální vibrační zařízení



Obr. 43 Schéma zkušební lavice

5.1.1 Speciální vibrační zařízení

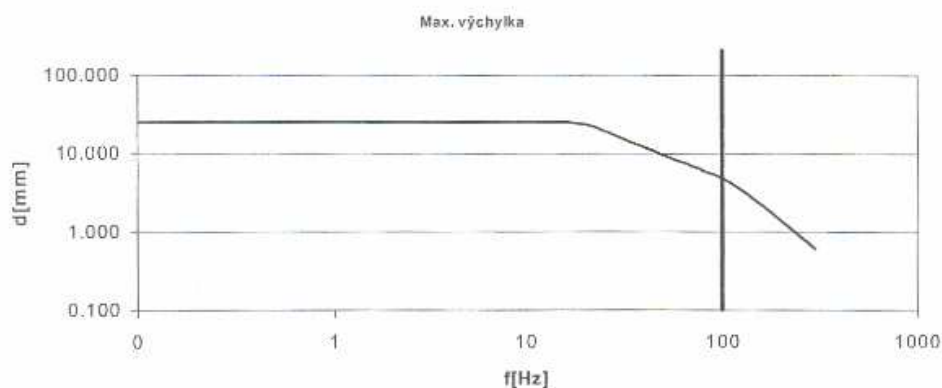
Speciální vibrační zařízení (zkušební stolice, obr. 43), které jsme použili při experimentu obsahuje budič vibrací TIRA vib 50350 s dvoukanálovou řídicí jednotkou VR 8500. Na budiči je umístěn snímač zrychlení, dále je zde upevněn indukčnostní snímač dráhy. Vše je upevněno do zpevněné konstrukce. Zkušební stolice umožňuje vhodné upevnění konce nitě na budiči vibrací a na zpevněném rámu. Na tom je umístěn snímač tahové síly v niti. Na rámu je také umístěn stavěcí šroub, pomocí kterého se nastavuje požadované předpětí nitě.

5.1.2 Budič vibrací

Budič vibrací (obr. 43) je tvořen elektromagnetem s jádrem ve speciálním uspořádání. Jádro je vedeno dvojicí velmi poddajných membrán. Pohyb jádra pak působí napětí přivedené na cívku elektromagnetu. Dle polarity se tzv. bubínek pohybuje tam a zpět.

Budič vibrací je řízen na základě požadovaného časového průběhu zrychlení. Proto je na budiči vibrací upevněn snímač zrychlení a signál z tohoto snímače je veden do řídicí jednotky. Tím je vytvořena zpětná vazba mezi budičem vibrací a řídicí jednotkou. Z dalšího připevněného snímače, indukčnostního snímače dráhy, a také ze snímače tahové síly umístěném na rámu jsou signály přivedeny do měřicí ústředny.

Budič vibrací systému umožňuje dosahovat výchylek protažení nití do cca 10 mm, a to až do frekvence 35 Hz, což přibližně odpovídá 2000 ot./min na tkacím stroji. Při frekvenci 100 Hz bychom mohli nitě protahovat do 4,7 mm (obr.44).



Obr. 44 Frekvenční závislost max. Výchylky budiče vibrací TIRA vib 50350

5.1.3 Snímače

a) Snímač zrychlení

Snímač zrychlení funguje na základě piezoelektrického jevu. Piezoelektrický tenzometr uvolňuje při mechanickém zatížení na povrchu orientovaného výbrusu z krystalu (při jeho deformaci) elektrický náboj úměrný zatížení. Dojde k přeměně mechanického signálu na elektrický.

b) Snímač dráhy

Indukční snímače dráhy se používají při měření vzájemných posuvů na konstrukci. Bylo použito snímače s cívkou s feromagnetickým jádrem, kdy při změně jeho polohy dochází ke změně napětí.

c) Snímač tahové síly

Pro měřicí stolicí byl připraven speciální snímač tahové síly v niti. Je vybaven jediným kolíkem se čtyřmi odporovými tenzometry. Vlivem působení tahové síly v niti dochází k prohnutí kolíku, deformaci, čímž dochází ke změně odporu tenzometru.

Signály z indukčnostního snímače dráhy a ze snímače tahové síly v niti jsou přivedeny na měřicí ústřednu HBM MGC plus a jejich časové průběhy jsou zobrazeny v obslužném programu měřicí ústředny. Průběh signálu indukčnostního snímače dráhy určuje časový průběh protažení nitě - budicí funkce a průběh signálu snímače tahové síly určuje časovou závislost tahové síly v niti - odezva. Obslužný program měřicí ústředny umožňuje tyto hodnoty uložit do souborů.

Řídící a měřicí jednotka zprostředkovává obousměrný kontakt s PC, který je vybaven obslužným programem.

5.2 Použitý materiál

Pro porovnání chování textilního materiálu, bylo účelné zvolit různé druhy nití. Použili jsme bavlněnou nit o jemnosti 20 tex a dále nit ze 100% polyesteru o jemnosti 2×78 dtex.

5.3 Popis měření

Měření bylo provedeno při teplotě vzduchu 20 ± 2 °C a vlhkosti vzduchu 50 ± 2 %.

Jak bylo uvedeno ve statí 1.3, při zdvihu listu o cca 50-60 mm, je protažení osnovních nití přibližně 10 mm. Z tohoto důvodu byl zadán požadovaný průběh zrychlení ve tvaru harmonické funkce (stat' 4), a to tak, aby maximální protažení nitě pro námi určené frekvence dosahovalo zmiňované hodnoty 10 mm.

V experimentu byly osnovní nitě namáhány dvěmi různými frekvencemi 10 Hz a 30 Hz. Tyto frekvence odpovídají otáčkám na tkacím stroji 600 a 1800 ot./min. Jsou tedy dostatečné pro simulaci namáhání osnovních nití při otevírání prošlupu v procesu tkaní.

Do zkušební stolice byla každá nit postupně upnuta v délce: 1000 mm, 1500 mm, 2000 mm a 2500 mm s předpětím nitě 200-400 mN.

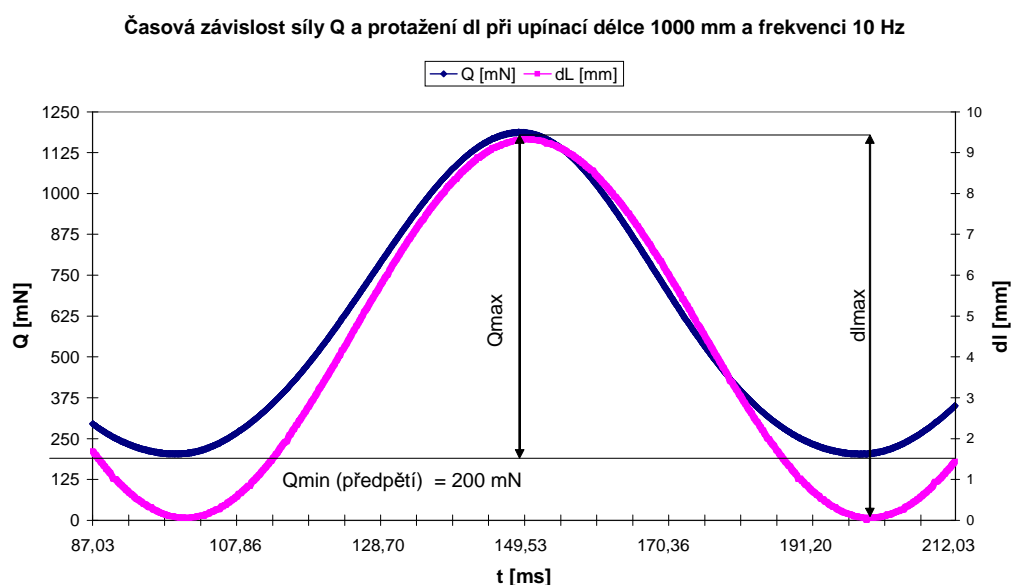
Pro každý druh materiálu bylo provedeno 10 měření pro každou upínací délku a každou frekvenci. Celkem tedy bylo provedeno 160 pokusů pro oba materiály. Každé měření bylo zaznamenáno po dobu 1 sekundy.

Naměřené hodnoty uložené v souborech obslužného programu počítače byly nadále zpracovány aplikací Famulus. Pro další vyhodnocení dat bylo též využito softwaru Mathematica 6. Z dat, po importu do Excelu, byly vyhotoveny grafy a tabulky. O výsledcích bude diskutováno v následující kapitole.

6. Zpracování výsledků

V této části je pojednáno o vlivu působení tahové síly v osnovní niti na její protažení při různých frekvencích a upínacích délkách.

Jak bylo uvedeno výše, nit je harmonicky namáhána. Závislost síly na protažení je zobrazena na ukázkou obrázkem č. 45. Ostatní průběhy můžeme vidět v příloze č.3, č.4 pro další upínací délky a zvolené frekvence obou použitých materiálů. Grafy ze všech měření jsou téměř totožné, proto je uvedeno příkladem pouze jedno měření.



Obr. 45 Časová závislost tahové síly na protažení pro bavlnu (měření č.2)

Poměrem amplitud síly a protažení, resp. poměrem jejich maximálních hodnot, jak bylo uvedeno dříve, lze při harmonickém buzení definovat dynamický modul tuhosti nitě. Ten je více či méně závislý na frekvenci namáhání ω . Abychom zjistili chování osnovní nitě při dané frekvenci namáhání, bylo nutné stanovit, mezi působící silou Q a protažením, fázové posunutí φ dle vztahu (89):

$$\varphi = \arcsin \frac{H}{\frac{\varepsilon_{\max}}{2} * \frac{Q_{\max}}{2} * \pi}$$

Pro výpočet tohoto úhlu φ , bylo nutné určit hodnotu maximální síly Q_{\max} , maximálního protažení ε_{\max} a hystereze H . Hodnotu maximální síly a maximálního protažení jsme výsledně získali z naměřených hodnot, a to úpravou v programu Famulus. Hystereze byla v programu Famulus vypočítána obdélníkovou metodou. Výsledky jsou uvedeny v příloze č.2.

Pro naše vyhodnocení jsme dále užili těchto vztahů (83), (84), (85). Výsledky jsou uvedeny v následující tabulkách číslo 1-4.

Tab. 1 Modul tuhosti a fázové posunutí bavlněné nitě při frekvenci 10 Hz

<i>Frekvence 10Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
E_0 [N/m]	100,07	4,09*	61,12	2,13*	46,51	2,39*	34,80	0,69*
φ [rad]	0,14	0,04*	0,12	0,03*	0,10	0,03*	0,11	0,02*
E_1 [N/m]	98,93	3,83*	60,61	2,28*	46,24	2,38*	34,58	0,68*
E_2 [N/m]	13,72	4,32*	7,29	1,73*	4,63	1,21*	3,68	0,73*

Tab. 2 Modul tuhosti a fázové posunutí bavlněné nitě při frekvenci 30 Hz

<i>Frekvence 30Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
E_0 [N/m]	96,87	3,96*	63,52	2,66*	45,67	1,61*	37,42	1,22*
φ [rad]	0,14	0,02*	0,12	0,03*	0,14	0,02	0,12	0,04*
E_1 [N/m]	95,91	4,00*	63,00	2,69*	45,22	1,58*	37,06	1,20*
E_2 [N/m]	13,17	2,19*	7,56	1,94	6,19	1,00*	4,60	1,59*

Tab. 3 Modul tuhosti a fázové posunutí polyesterové nitě při frekvenci 10 Hz

<i>Frekvence 10Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
E_0 [N/m]	53,37	1,17*	39,37	0,68*	30,77	0,48*	22,94	1,85*
φ [rad]	0,04	0,03*	0,02	0,05*	0,01	0,04*	0,02	0,04*
E_1 [N/m]	53,28	1,18*	39,24	0,67*	30,73	0,49*	22,90	1,84*
E_2 [N/m]	2,12	1,41*	0,75	2,02*	0,48	1,04*	0,54	0,79*

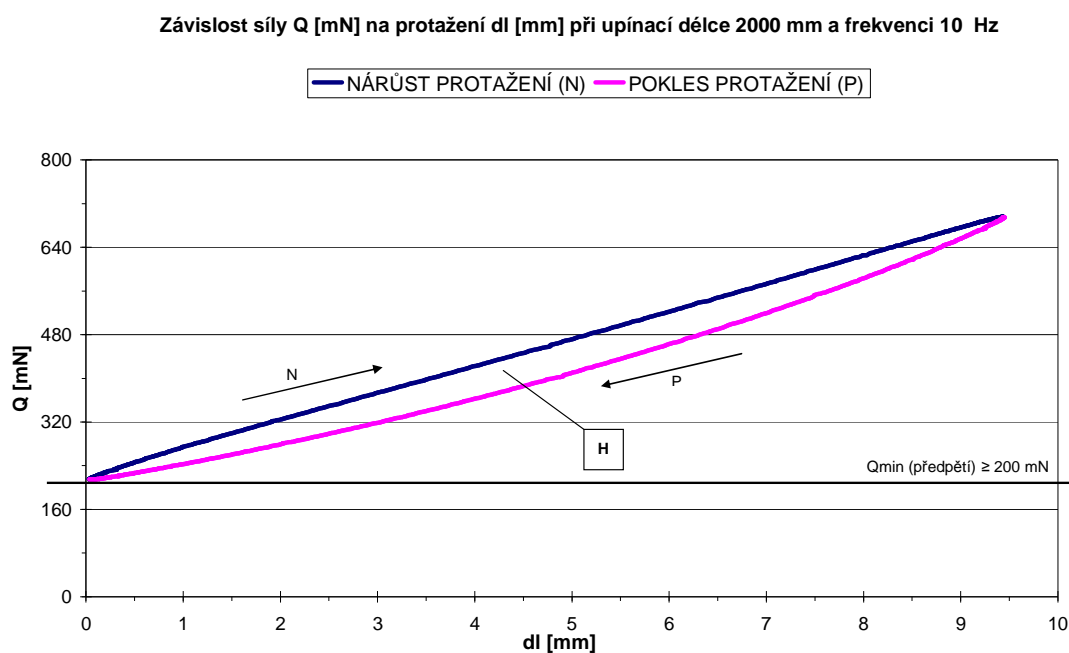
Tab. 4 Modul tuhosti a fázové posunutí polyesterové nitě při frekvenci 30 Hz

<i>Frekvence 30Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
E_0 [N/m]	53,69	1,63*	39,27	0,93*	31,38	0,31*	25,54	0,26*
φ [rad]	0,04	0,03*	0,04	0,03*	0,04	0,02*	0,04	0,04*
E_1 [N/m]	53,58	1,58*	39,21	0,90*	31,33	0,31*	25,47	0,24*
E_2 [N/m]	2,13	1,76*	1,56	1,05*	1,26	0,64*	1,15	0,96*

* IS

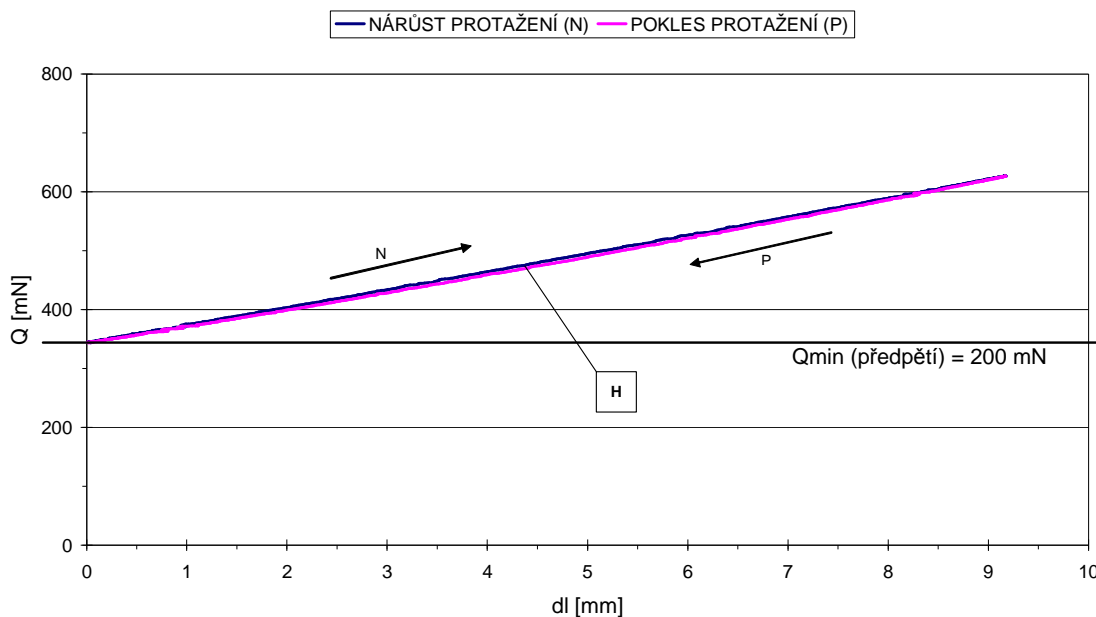
Z výsledků v tabulkách pro bavlnu i polyester lze vidět, že hodnoty fázového posunutí φ , mezi působící silou a protažením, jsou velmi nízké. Z toho vyplývá, že i hystereze H (příloha č.2) a imaginární část komplexního modulu E_2 (viz tab. 1-4) je

také nízká, tedy plocha mezi křivkami je malá. Vznikají tedy jen velmi nepatrné ztráty energie přeměňující se na teplo, jak uvádí výše citované literatury. Nízká hodnota hystereze (plocha) je patrná i z grafů na obr. 46 pro bavlněnou nit a obr. 47 pro polyesterovou nit. Jedná se o ukázky hystereze pro upínací délku 2000 mm při frekvenci 10 Hz. Další grafy je možné shlédnout v příloze č 3.



Obr. 46 Hystereze – bavlněný materiál

Závislost síly Q [mN] na protažení dl [mm] při upínací délce 2000 mm a frekvenci 10 Hz

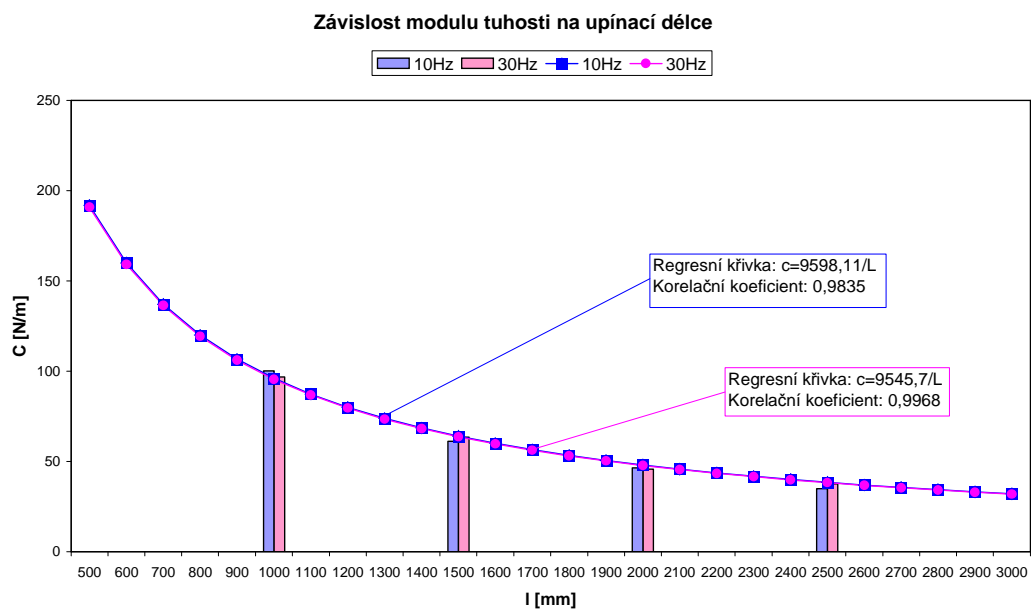


Obr. 47 Hystereze – polyesterový materiál

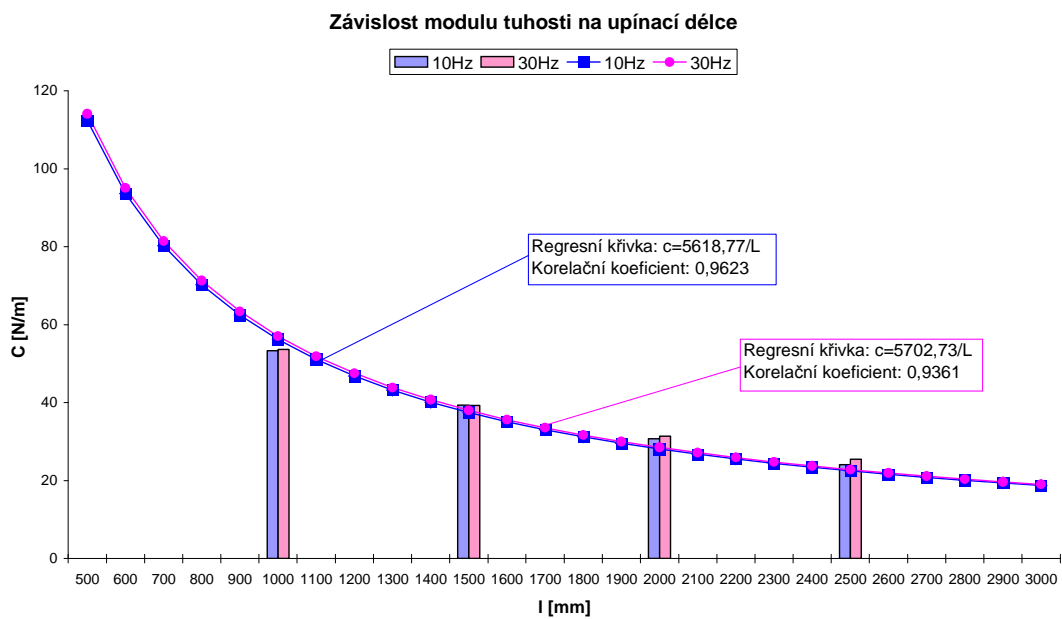
Dále z tabulek č. 1-2 vyplývá, že modul tuhosti nitě pro bavlnu je při námi zvolených frekvencích přibližně stejný. Totéž platí i pro polyester (tab. č. 3-4). Pro bavlněný materiál jsou hodnoty modulu tuhosti vyšší, tzn. že oproti polyesteru je bavlna méně poddajná.

Na následných obrázcích obr. 48, obr. 49 je vynešena závislost modulu tuhosti nitě na upínací délce dle vztahu (11). Z vypočítaných hodnot modulu tuhosti pro jednotlivé upínací délky, byla pomocí programu Mathematica 6 stanovena regresní křivka (údaje viz grafy na obr. 48, obr. 49) Jak je vidět, z hodnot korelačních koeficientů, funkce je vyhovující. A má hyperbolický průběh.

Porovnáme-li v tabulkách č. 1-4 hodnoty modulu tuhosti nitě jednotlivých upínacích délek, je patrné, že se zvyšující se upínací délkou modul tuhosti nitě klesá (obr. č. 48, obr. č.49).



Obr. 48 Závislost modulu tuhosti na upínací délce pro bavlněný materiál



Obr. 49 Závislost modulu tuhosti na upínací délce pro polyesterový materiál

Jak bylo uvedeno již dříve, experimentálně lze rozeznat elastické jevy od viskoelastických a viskoplastických. V reálných materiálech se tyto odděleně nevyskytují, ale při určitých namáháních vždy převládá určitý typ chování látky, a to v závislosti na podmínkách.

Závěrem je možné říci, že vzhledem k malým hodnotám hystereze a fázového posuvu mezi působící silou a protažením, se jedná o jejich přibližně lineární závislost, a to jak při protahování, tak i při povolování nitě. To znamená, že osnovní nit lze modelovat Hookeovým prvkem, který vyjadřuje právě zmiňovanou lineární závislost mezi silou a protažením, tj. vratnou deformaci. V našem případě dochází pouze k časově opožděné deformaci za působící silou.

Je nutné podotknout, že linearita vztahu byla experimentem zjištěna při námi stanovených podmínkách.

Zároveň při námi volených frekvencích a v závislosti na podmínkách nestačí makromolekuly látky reagovat na rychlé časové změny působících sil a i s tím souvisí malá hodnota hystereze.

Stejně tak i náš experiment se zabývá pouze tahovou silou, kterou jsou osnovní nitě namáhány (protahovány) při otvírání a zavírání prošlupu, přestože spolu s tahem působí také ohyb a tření v očkách nitěnek, jenž zanedbáváme (viz odstavec 1.3.2).

7. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo pomocí experimentu analyzovat tkací frekvence a upínací délky osnovní nitě na její deformační vlastnosti při otevírání prošlupu. Z experimentu vyplývá, že při námi zvolených frekvencích, namáhání tohoto textilního materiálu je lineární a můžeme jej modelovat Hookeovým modelem. A s rostoucí upínací délkou klesá modul tuhosti nitě.

Dále je na základě provedených měření možné stanovit typ reologického modelu nahrazujícího osnovu v matematických modelech popisujících soustavu tkací stroj – osnovu – osnovní regulátor.

Pro ucelenější objektivnější pohled na problematiku jako celku lze, z poznatků získaných při vypracovávání této diplomové práce, doporučit ještě další následné, při stejných ostatních podmínkách provedené, zkoušky, avšak při nastavení vyšších frekvencí a při větším předpětí než při našem experimentu.

Nadále lze doporučit opakovat náš experiment ještě i v odlišných klimatických podmínkách (klimatizování) či při dlouhodobějším namáhání. Možností dalších zkoušek, s různě vhodně kombinovanými zadanými parametry, je tedy více.

Za teoretických předpokladů smyslu (vzhledem k možným variantám zadávaných parametrů) určitě i tyto další experimenty přispějí a budou v důsledku užitečné pro další zkvalitňování výroby textilií.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Petr Tumajer, <http://tkani.tul.cz/Obsah/Trendy/Vykony/vykony.htm>
- [2] Dvořák, J.: Tkací proces a stroj, TUL, Liberec, 2006, ISBN 80-7372-099-X
- [3] Nosek, S.: Teorie tkacího procesu – část I, Dům techniky ČSVTS Pardubice, 1988
- [4] Nosek, S.: Teorie tkacího procesu – část II, Dům techniky ČSVTS Pardubice, 1988
- [5] Grydil, V., Tumajer, P., Brotz, I.: The methods of ascertaining the characteristic of the textile material by means of the vibration system, sborník 4th Autex Conference, ISBN 2-9522440-0-6
- [6] Fukač, F.: Technologie tkalcovství II, SNTL, Praha, 1977
- [7] Košková, B.: Struktura a vlastnosti vláken, VŠST, Liberec, 1989, ISBN 80-083-018-2
- [8] Moravec, V.: Stroje a technologie člunkového tkaní, VŠST, Liberec, 1985
- [9] Talavášek, O.: Tkací stroje člunkové, bezčlukové a víceprošlupní, SNTL, Praha, 1988
- [10] Nosek, S.: Teorie tkacího procesu – část III, Dům techniky ČSVTS Pardubice, 1989
- [11] Havránek, A.: Úvod do bioreologie, nakl. Karolinum, Praha, 2007, ISBN 978-80-246-1445-8
- [12] Neckář, B.: Příze, SNTL, Praha, 1990
- [13] Kovačič, V.: Zkoušení textilií, učební texty, Liberec, 2001
- [14] Hladík, V.: Textilní vlákna, SNTL, Praha, 1970
- [15] Tumajer, P., Brotz, I., Grydil, V.: Influence of threads clamping on deformation behavior of threads on a new testing device simulating warp in weaving process, sborník 5th Autex Conference, st. 847-852, ISBN 86-435-0709-1
- [16] Sobotka, Z.: Reologie hmot a konstrukcí, Academia, Praha, 1981
- [17] Tumajer, P.: Teorie tkaní, přednášky, Liberec, 2004
- [18] Modrlák, O.: Analýza dynamických systémů, studijní materiály, Liberec, 2002
- [19] Ursíny, P.: Předání - díl II. TUL, Liberec, 2001

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Geometrie prošlupu dle [6]
- Obr. 2 Základní prošlup dle [6]
- Obr. 3 Závislost protažení nití na zdvihu listu dle [5]
- Obr. 4 Poloha osnovní svůrky a geometrie prošlupu dle [6]
- Obr. 5 Tření nitě v očku nitěnky dle [6]
- Obr. 6 Rozbor pracovní křivky tahové zkoušky dle [7]
- Obr. 7 Elastická lineární deformace dle [7]
- Obr. 8 Elastická nelineární deformace dle [7]
- Obr. 9 Viskoelastická lineární deformace dle [7]
- Obr. 10 Viskoelastická nelineární deformace dle [7]
- Obr. 11 Plastická deformace dle [7]
- Obr. 12 Viskoplastická deformace dle [7]
- Obr. 13 Elastická lineární deformace dle [7]
- Obr. 14 Elastická lineární deformace dle [7]
- Obr. 15 Viskoelastická lineární deformace dle [7]
- Obr. 16 Viskoelastická nelineární deformace dle [7]
- Obr. 17 Viskoplastická deformace dle [7]
- Obr. 18 Ideální pružina dle [7]
- Obr. 19 Pružný element dle [7]
- Obr. 20 Schéma dynamického systému dle [18]
- Obr. 21 Schéma přenosu dynamického systému dle [18]
- Obr. 22 Amplitudová charakteristika dle [17]
- Obr. 23 Fázová charakteristika dle [17]
- Obr. 24 Ideální píst dle [7]
- Obr. 25 Viskózní element dle [7]
- Obr. 26 Amplitudová charakteristika – píst dle [17]
- Obr. 27 Fázová charakteristika – píst dle [17]
- Obr. 28 Maxwellův model dle [17]
- Obr. 29 Pružina – první člen dle [17]
- Obr. 30 Píst – druhý člen dle [17]
- Obr. 31 Amplitudová charakteristika – Maxwellův model dle [17]
- Obr. 32 Fázová charakteristika - Maxwellův model dle [17]

Obr. 33 Kelvinův model dle [17]
Obr. 34 Amplitudová charakteristika – Kelvinův model dle [17]
Obr. 35 Fázová charakteristika – Kelvinův model dle [17]
Obr. 36 Zenerův model dle [17]
Obr. 37 Hookeův prvek dle [17]
Obr. 38 První člen Maxwellova modelu dle [17]
Obr. 39 Druhý člen Maxwellova modelu dle [17]
Obr. 40 Amplitudová charakteristika – Zenerův model dle [17]
Obr. 41 Fázová charakteristika – Zenerův model dle [17]
Obr. 42 Speciální vibrační zařízení
Obr. 43 Schéma zkušební lavice
Obr. 44 Frekvenční závislost max. výchylky budiče vibrací TIRAvib50350
Obr. 45 Časová závislost tahové síly na protažení pro bavlnu (měření č.2)
Obr. 46 Hysterze – bavlněný materiál
Obr. 47 Hystereze – polyesterový materiál
Obr. 48 Závislost tuhosti na upínací délce pro bavlnu
Obr. 49 Závislost tuhosti na upínací délce pro polyesterovou nit

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Modul tuhosti a fázové posunutí bavlněné nitě při frekvenci 10 Hz
Tab. 2 Modul tuhosti a fázové posunutí bavlněné nitě při frekvenci 30 Hz
Tab. 3 Modul tuhosti a fázové posunutí polyesterové nitě při frekvenci 10 Hz
Tab. 4 Modul tuhosti a fázové posunutí polyesterové nitě při frekvenci 30 Hz

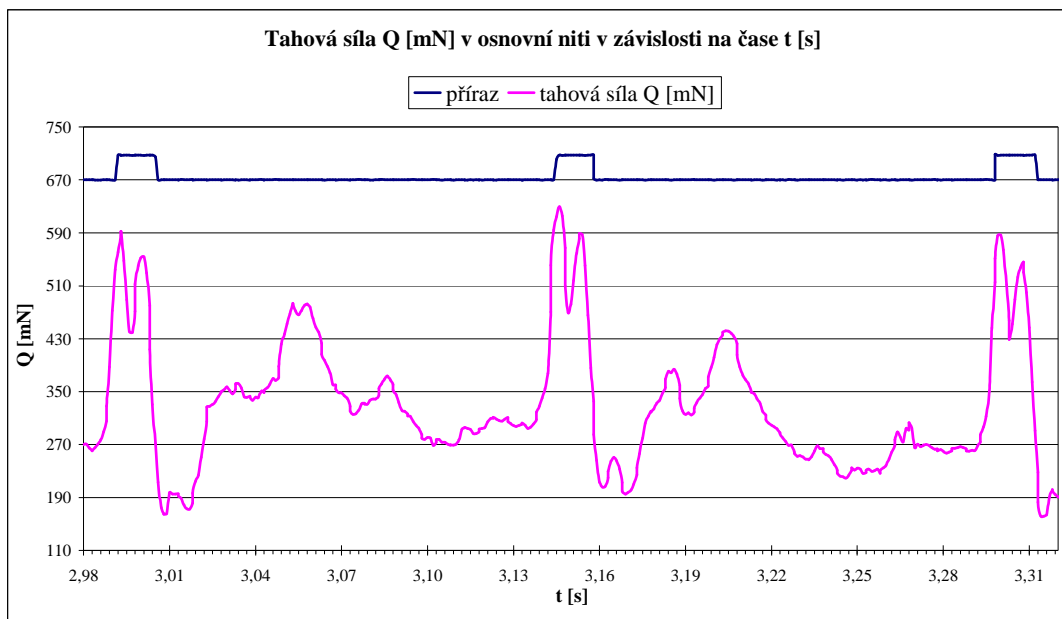
SEZNAM PŘÍLOH

- 1 Záznam tahové síly z tkacího stroje
- 2 Tabulka hodnot (síla, protažení, hystereze)
- 3 Časová závislost tahové síly na protažení pro bavlnu, polyester
- 4 Závislost tahové síly na protažení při daných upínacích délkách a frekvencích pro bavlnu a polyester

PŘÍLOHY

Příloha č.1

Záznam tahové síly z tkacího stroje



Příloha č.2

Bavlněný materiál

<i>Frekvence 10Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
H [mN.mm]	919,69	287,76*	516,43	123,11*	323,58	84,73*	261,63	51,99*
Qmax [mN]	924,63	36,64*	580,32	20,03*	438,91	23,32*	331,01	7,47*
dl [mm]	9,24	0,06*	9,50	0,02*	9,44	0,05*	9,51	0,06*
<i>Frekvence 30Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
H [mN.mm]	896,90	144,29*	539,46	139,10*	435,25	70,62*	326,05	113,26*
Qmax [mN]	902,47	34,45*	605,33	24,15*	432,31	16,40*	357,04	11,95*
dl [mm]	9,32	0,11*	9,53	0,05*	9,46	0,06*	9,54	0,11*

Polyesterový materiál

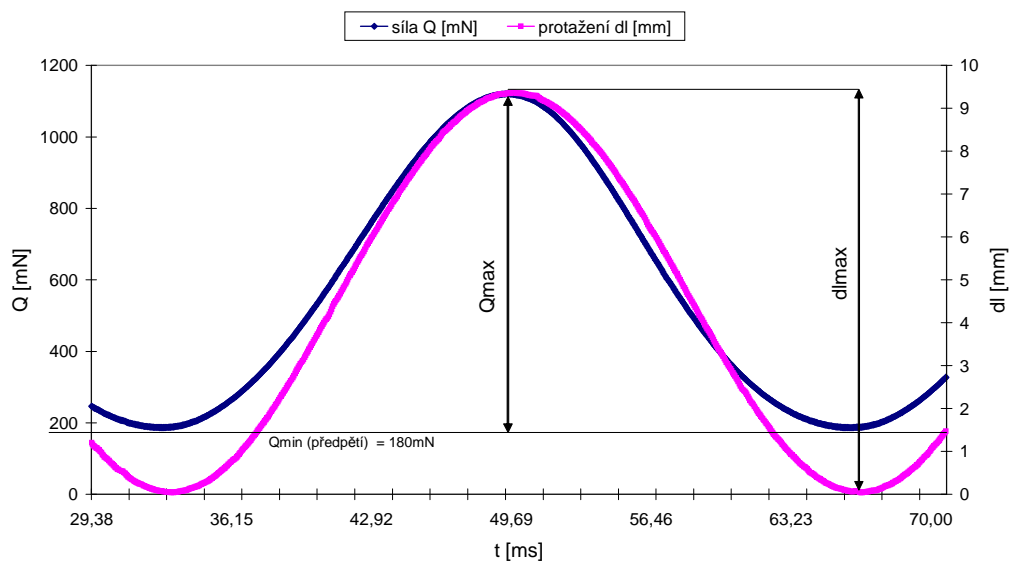
<i>Frekvence 10Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
H [mN.mm]	143,72	95,85*	52,40	138,30*	32,43	70,59*	36,72	53,47*
Qmax [mN]	495,20	11,99*	368,69	6,94*	286,31	4,31*	214,87	17,66*
dl [mm]	9,28	0,04*	9,37	0,04*	9,30	0,05*	9,33	0,06*
<i>Frekvence 30Hz</i>								
Upínací délka	1000 mm		1500 mm		2000 mm		2500 mm	
H [mN.mm]	143,54	119,22*	106,97	73,22*	86,75	44,48*	78,47	67,01*
Qmax [mN]	501,07	13,41*	368,57	8,66*	294,82	3,10*	240,15	3,03*
dl [mm]	9,34	0,06*	9,39	0,05*	9,39	0,04*	9,42	0,06*

*IS

Příloha č.3

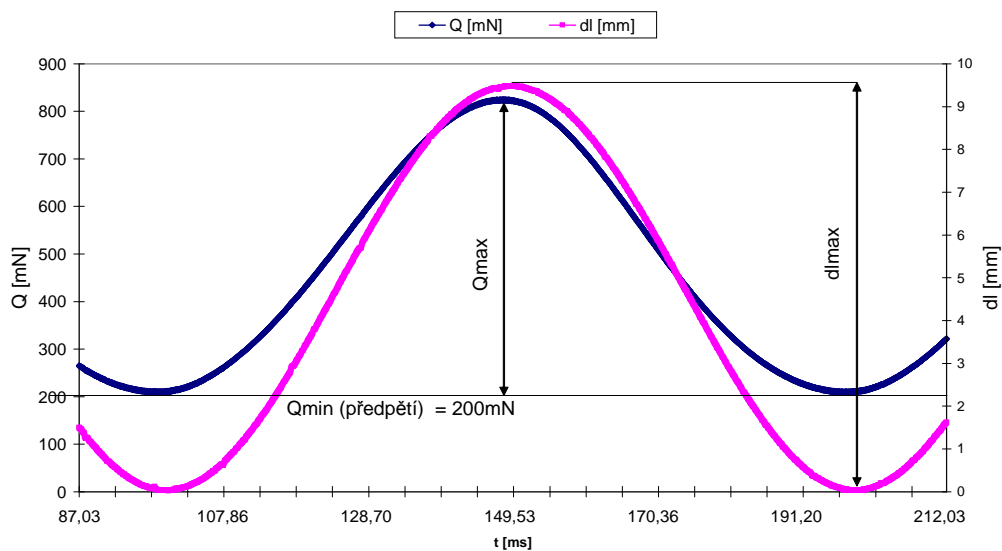
Časová závislost tahové síly na protažení pro bavlnu, polyester

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1000 mm a frekvenci 30 Hz



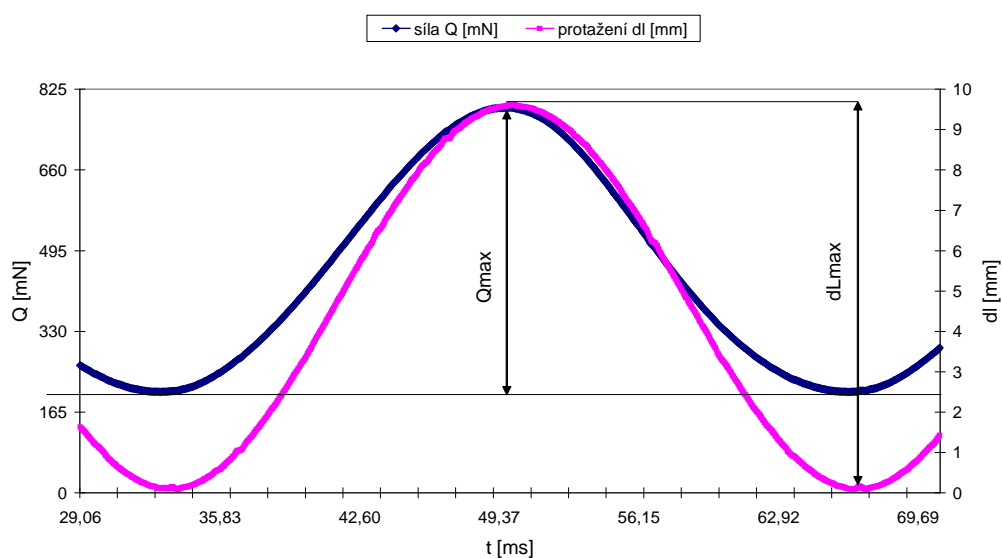
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 10 Hz



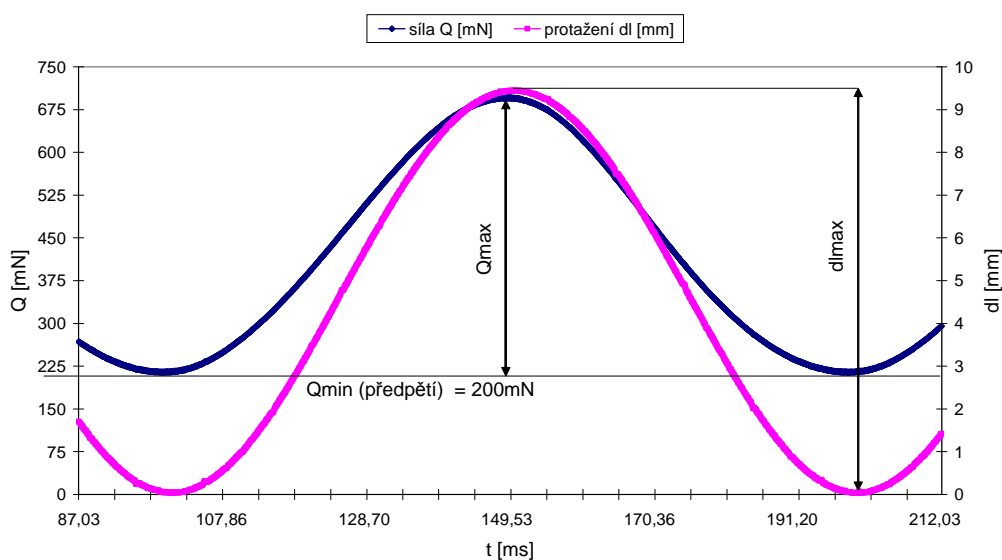
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 30 Hz



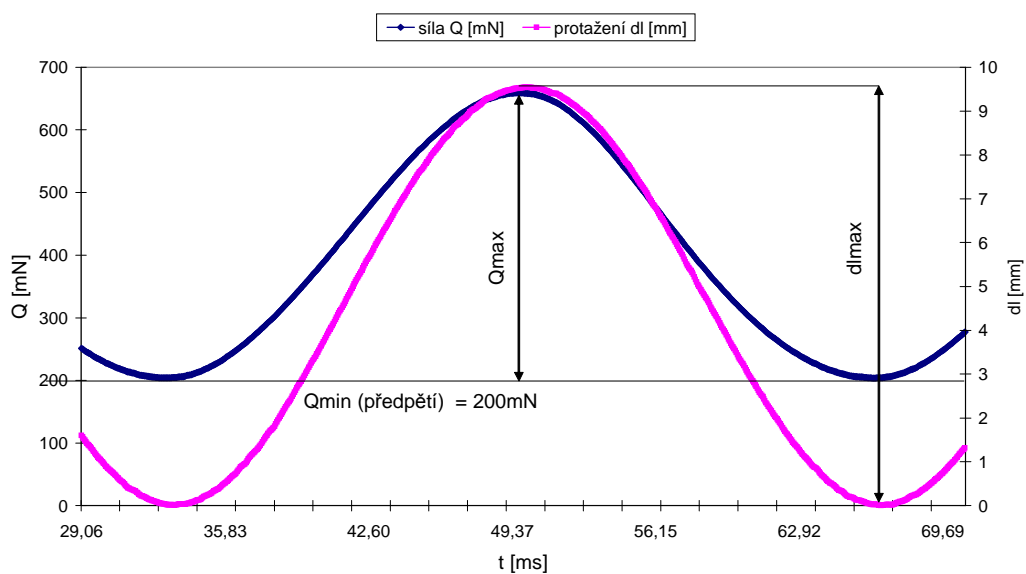
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 10 Hz



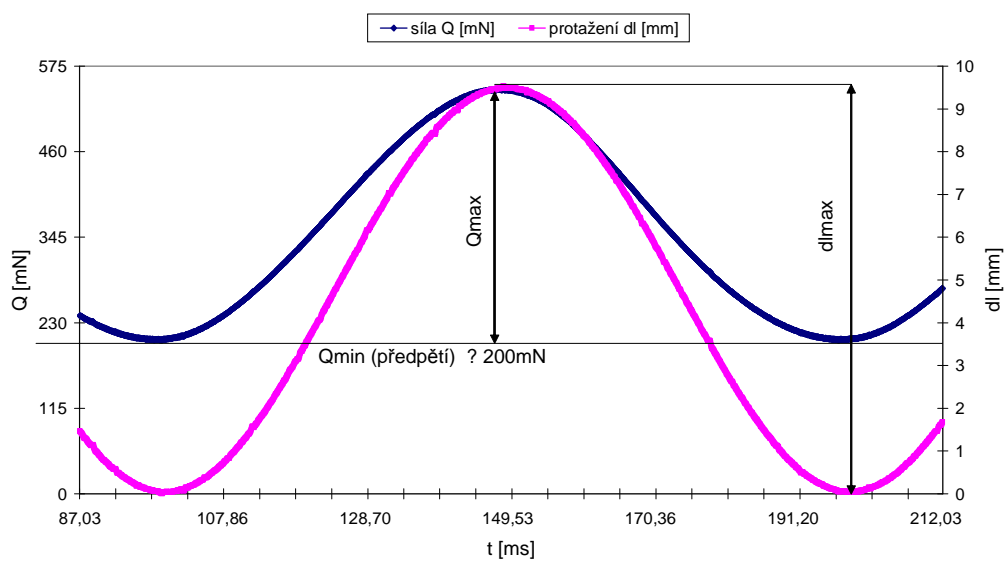
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 30 Hz



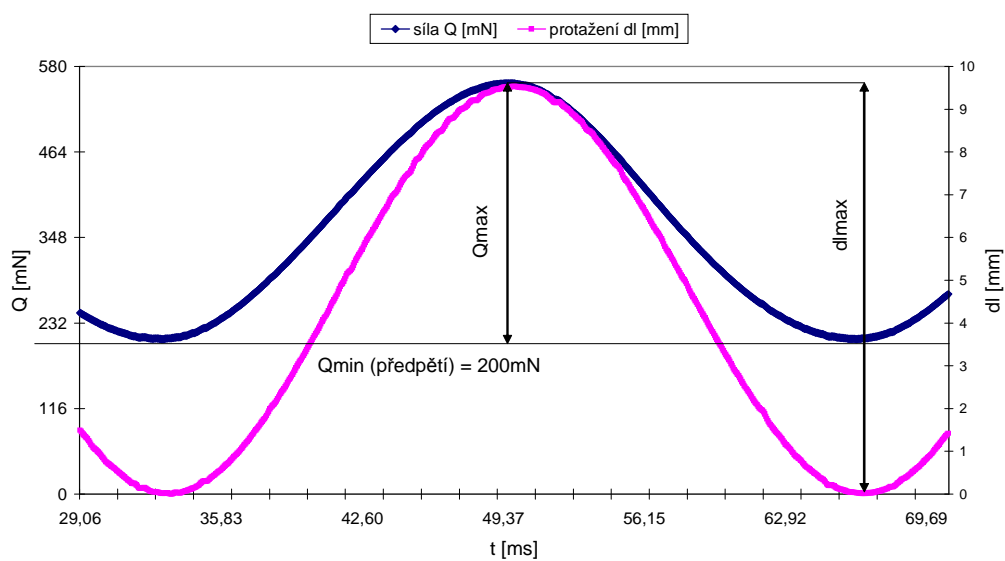
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 10 Hz



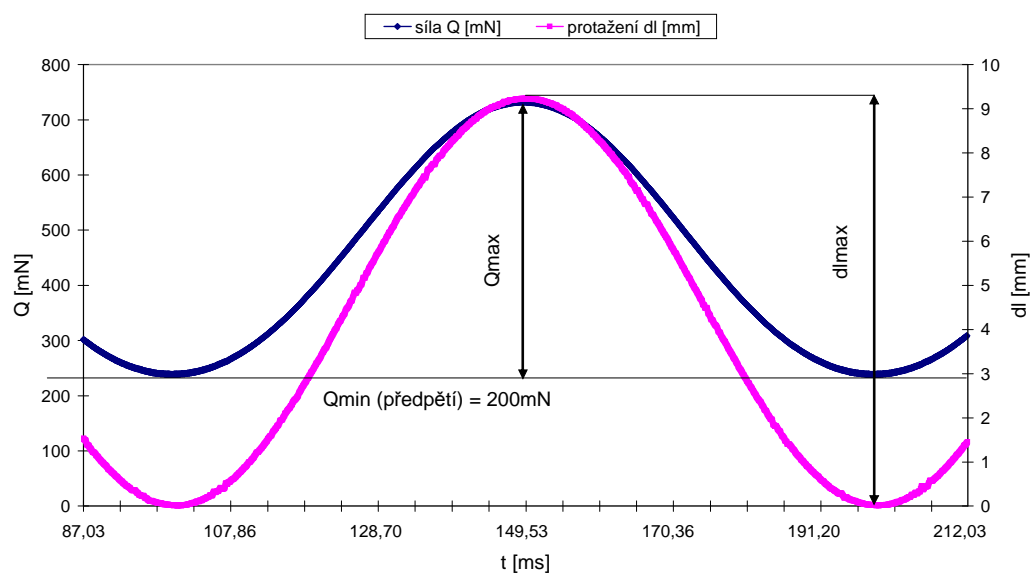
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 30 Hz



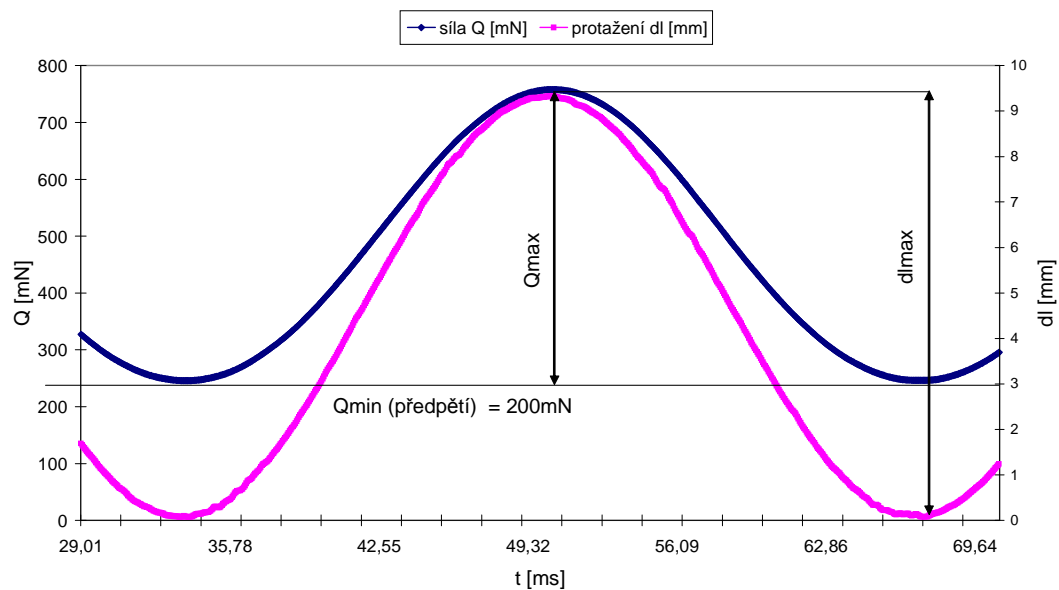
Bavlněný materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1000 mm a frekvenci 10 Hz



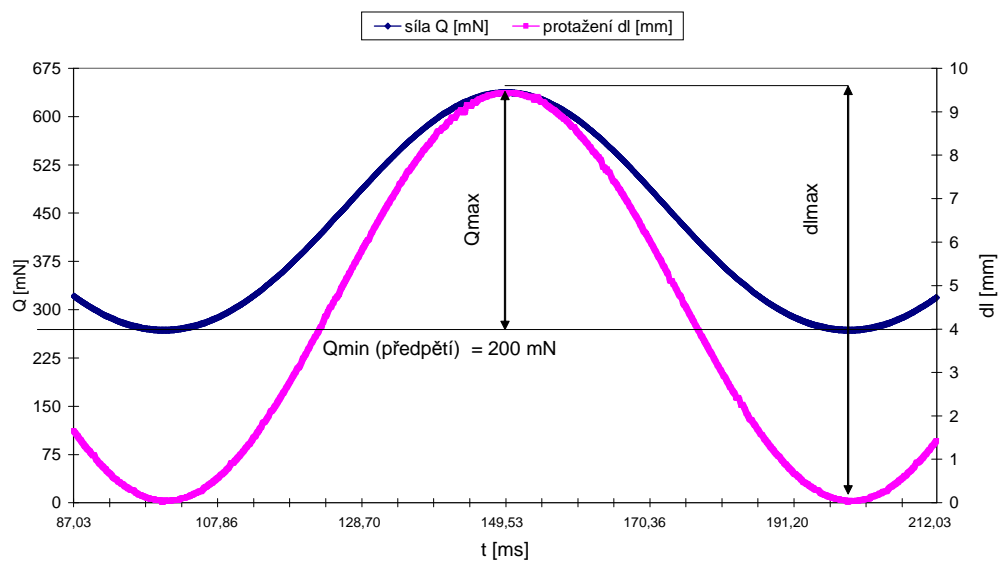
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1000 mm a frekvenci 30 Hz



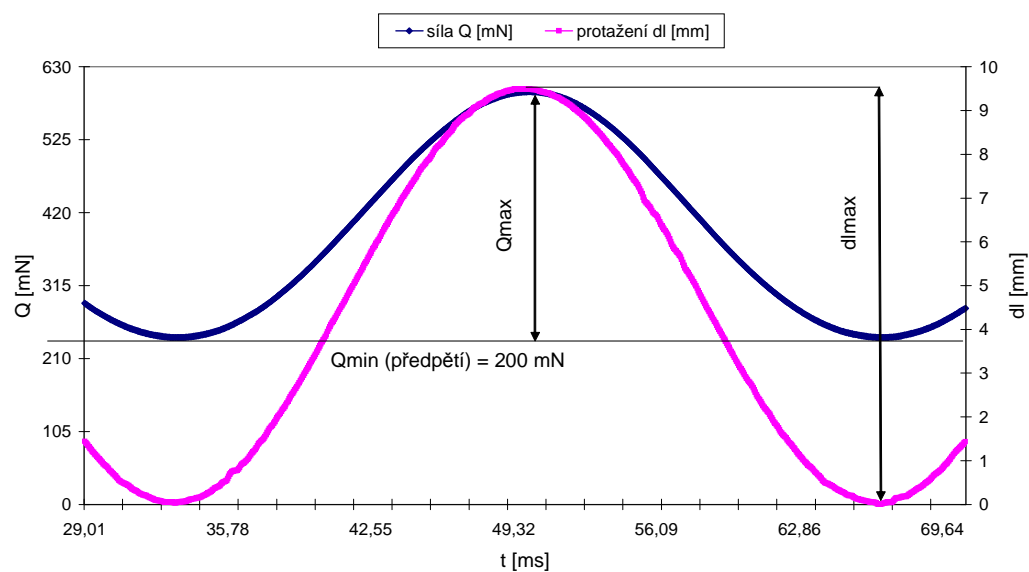
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 10 Hz



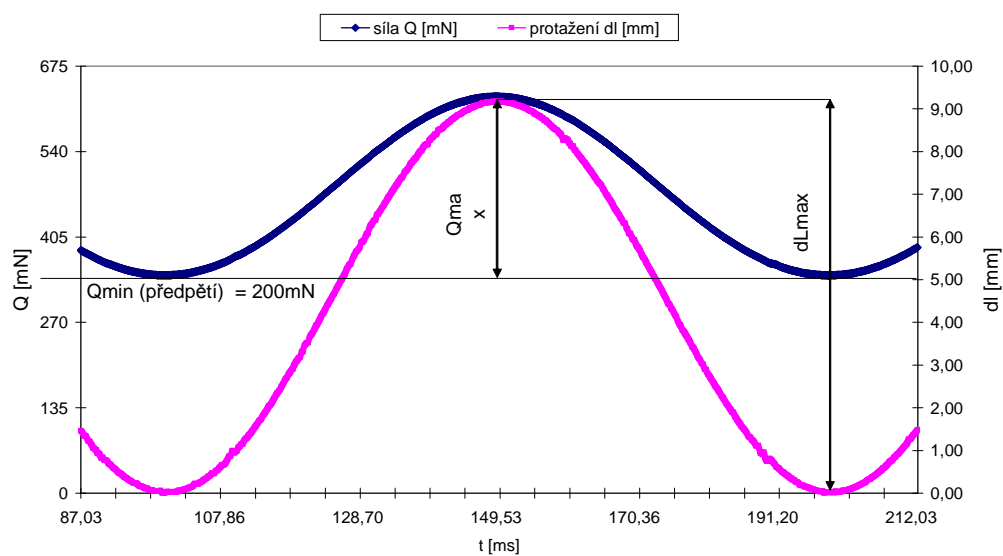
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 30 Hz



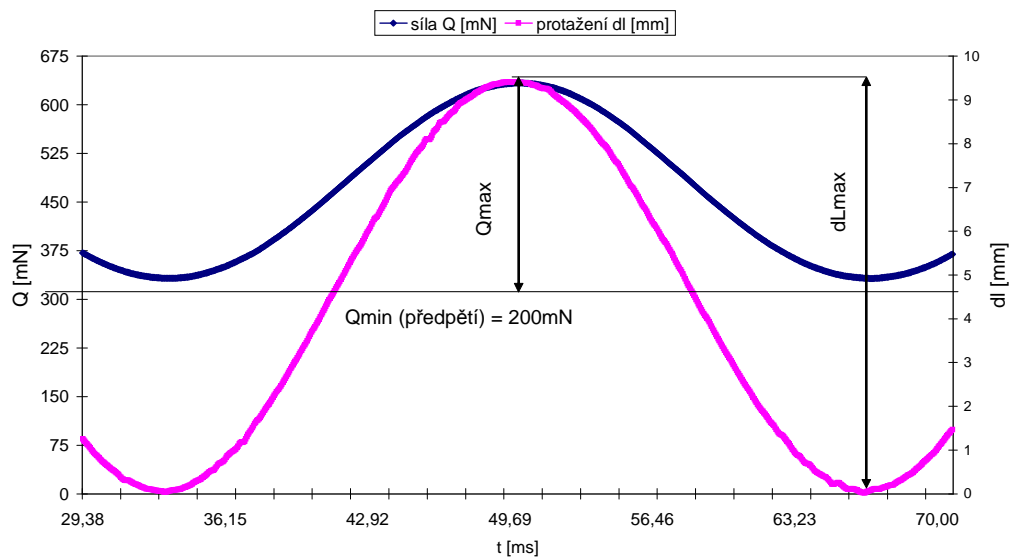
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 10 Hz



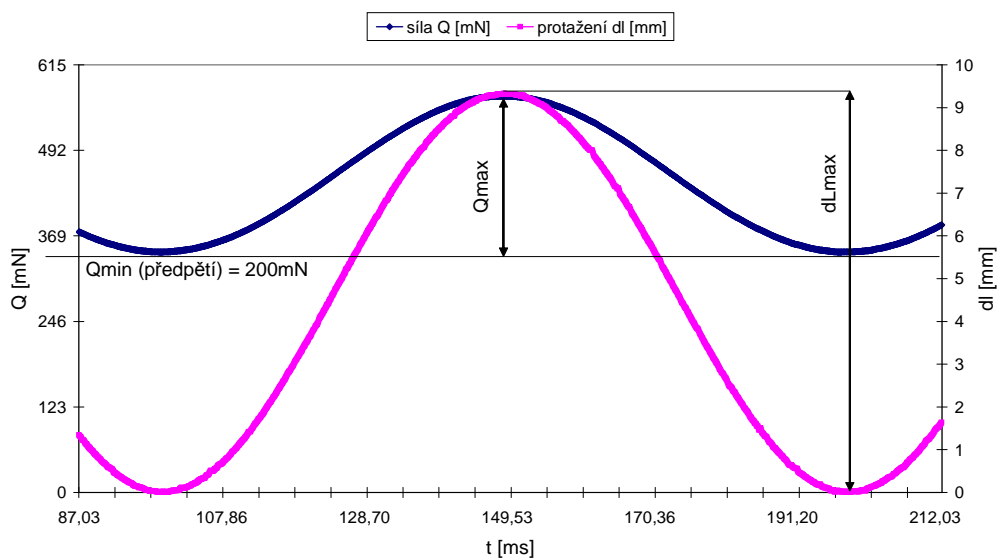
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 30 Hz



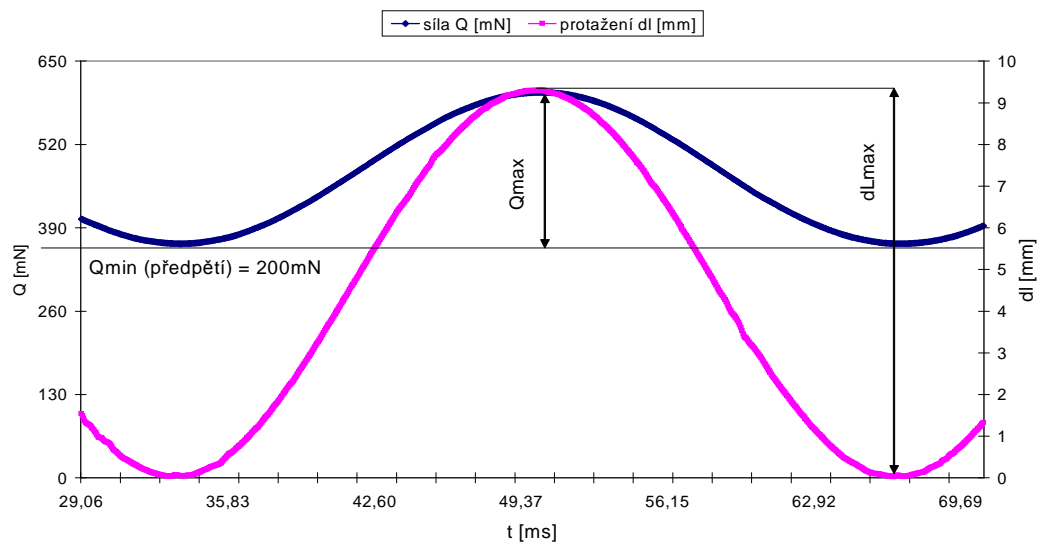
Polyesterový materiál (měření č.2)

Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 10 Hz



Polyesterový materiál (měření č.2)

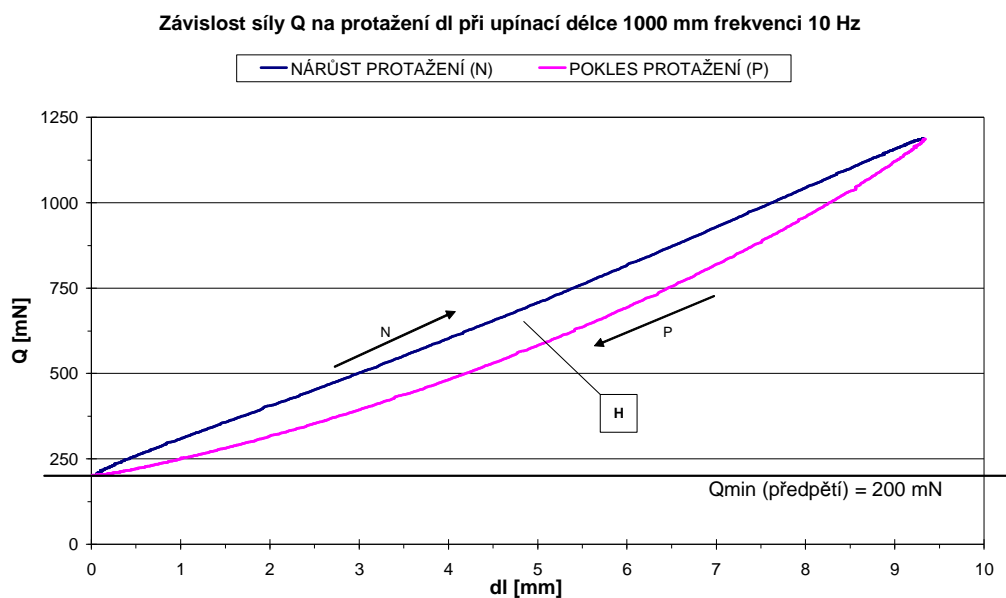
Časová závislost síly Q a protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 30 Hz



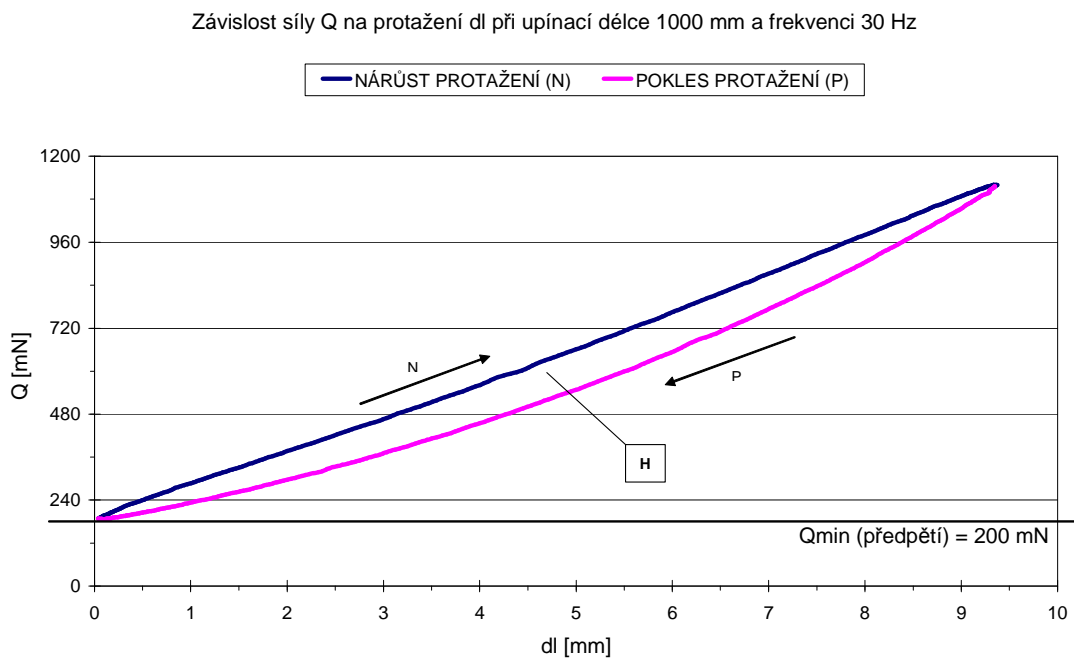
Polyesterrový materiál (měření č.2)

Příloha č.4

Závislost tahové síly na protažení při daných upínacích délkách a frekvencích pro bavlnu a polyester

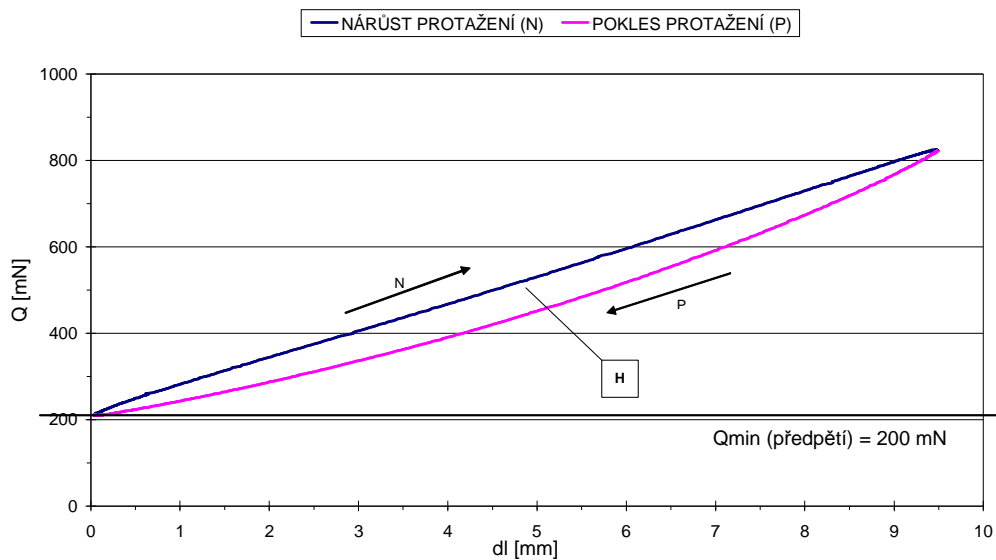


Bavlněný materiál (měření č.2)



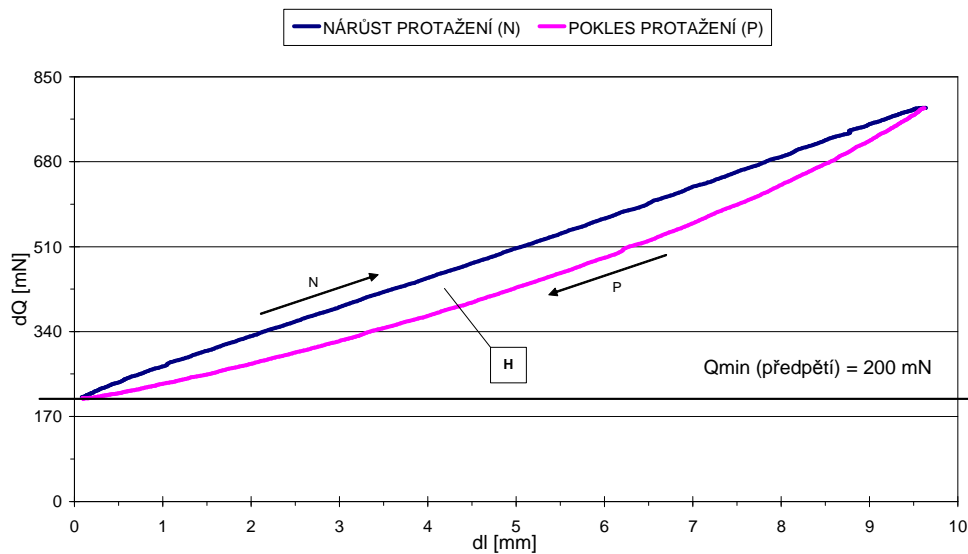
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 10 Hz



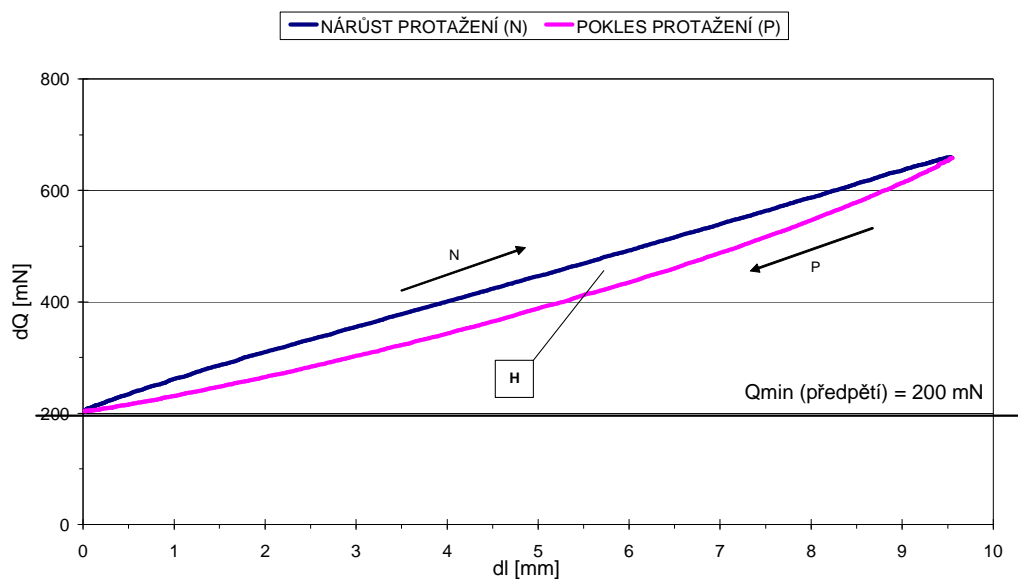
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 30 Hz



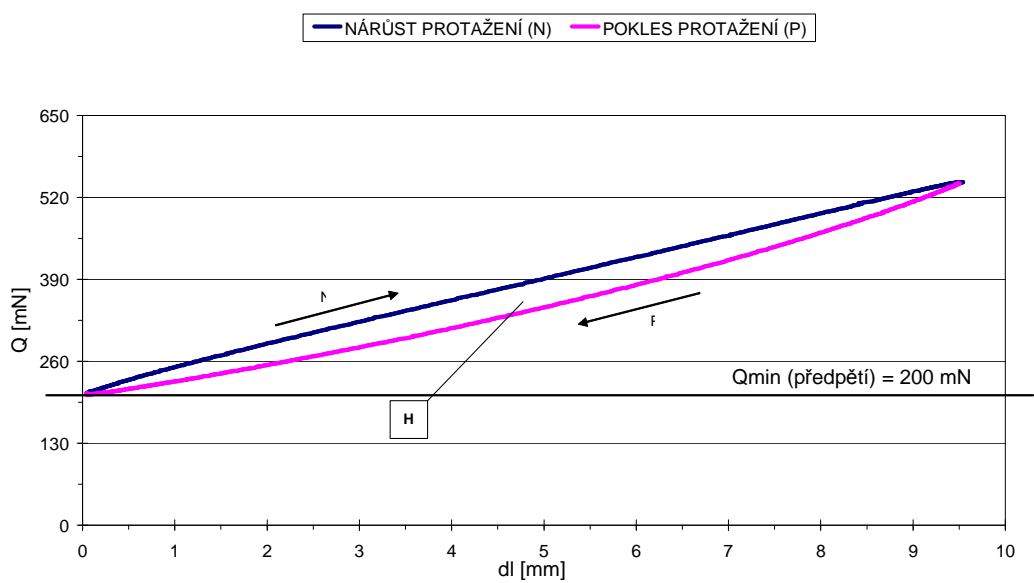
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 30 Hz



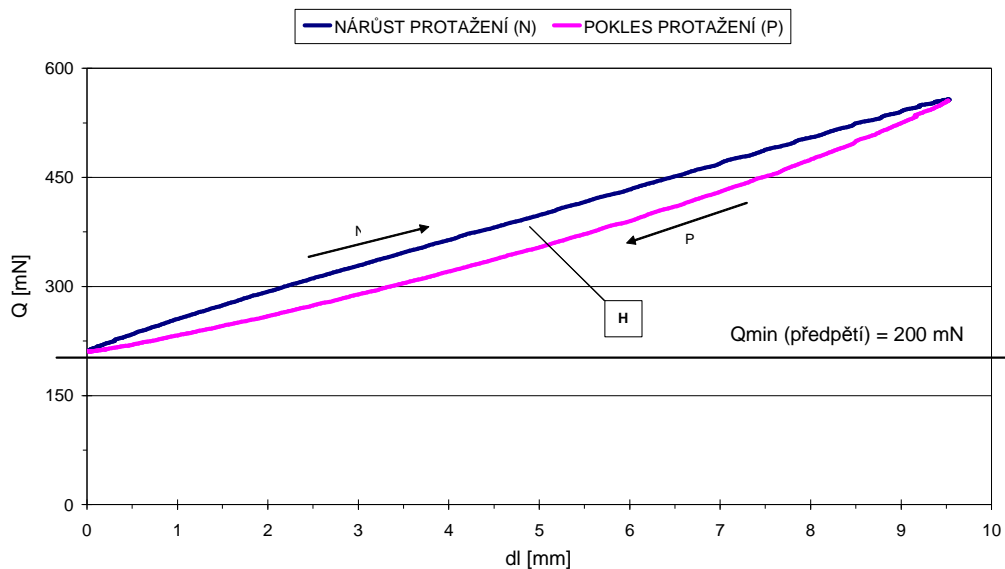
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 10 Hz



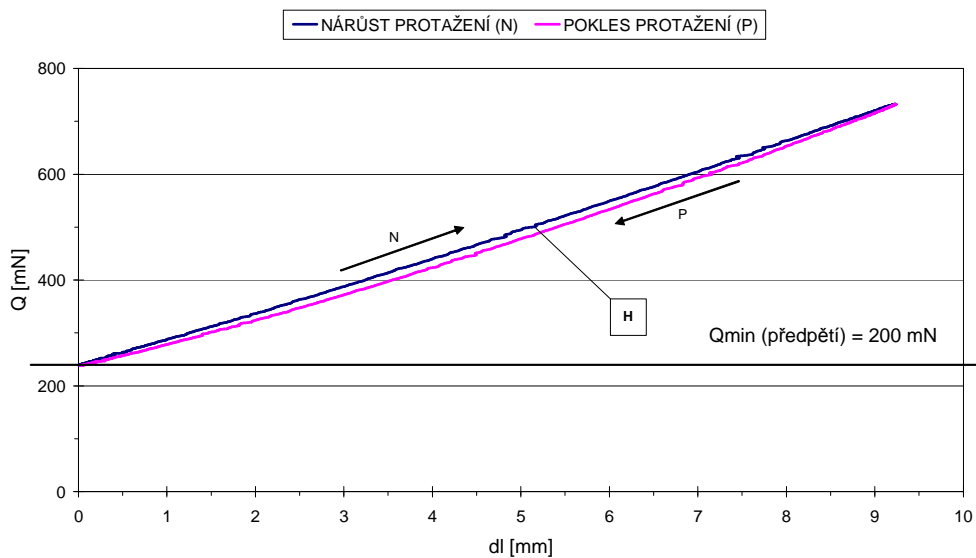
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 30 Hz



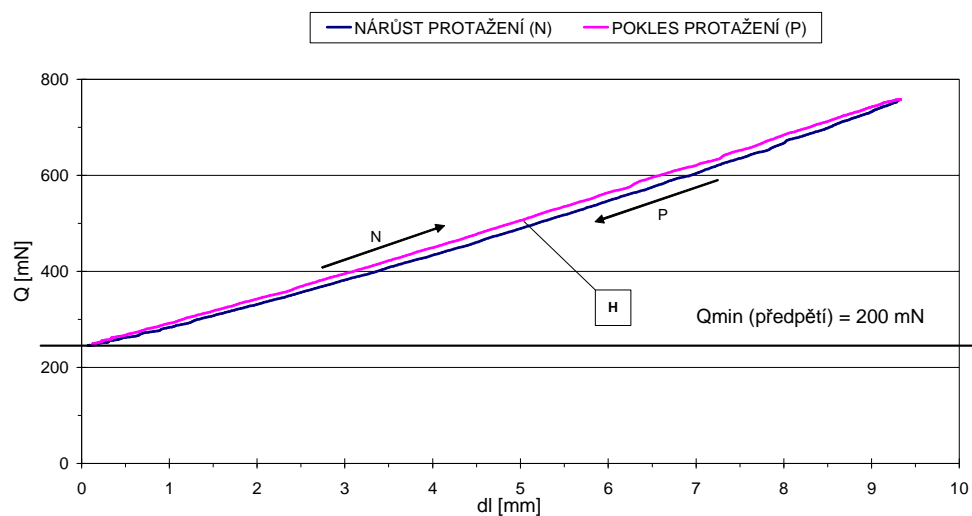
Bavlněný materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1000 mm a frekvenci 10 Hz



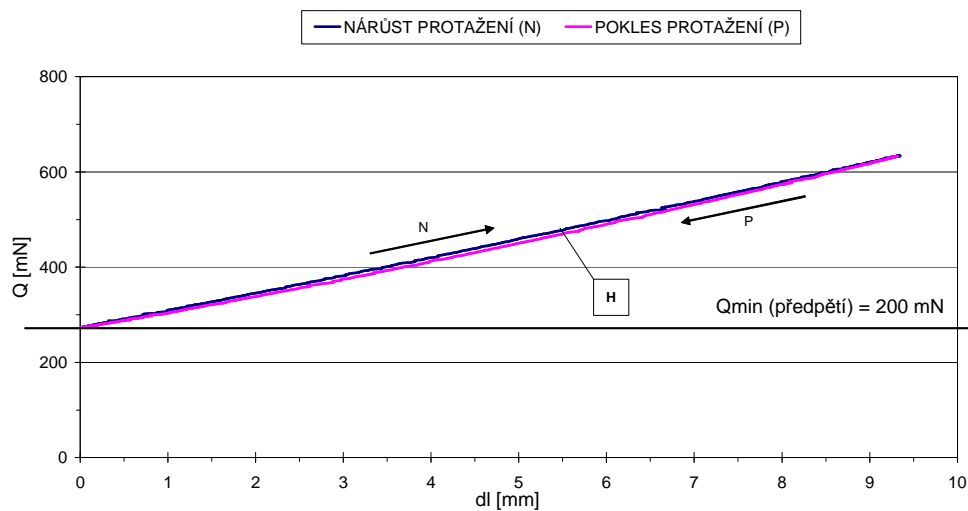
Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1000 mm a frekvenci 30 Hz



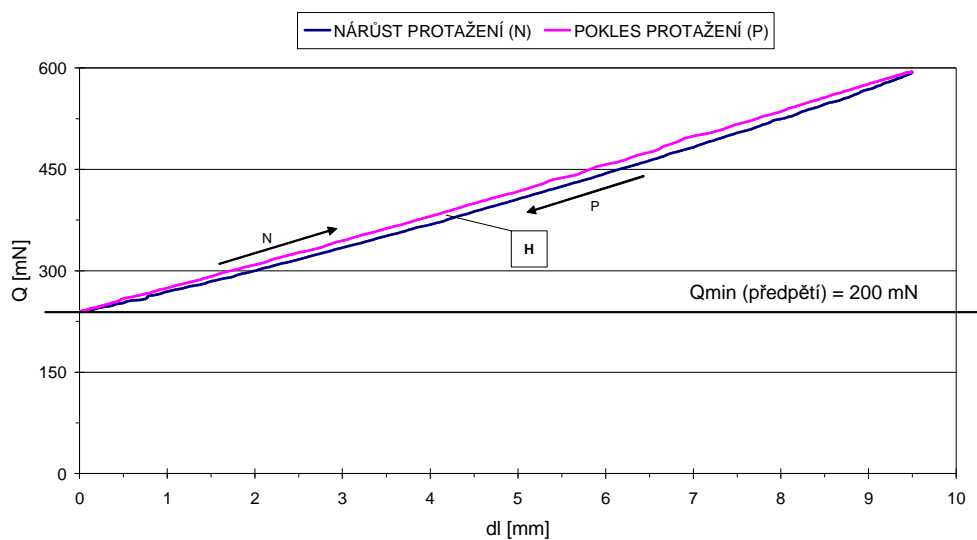
Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 10 Hz



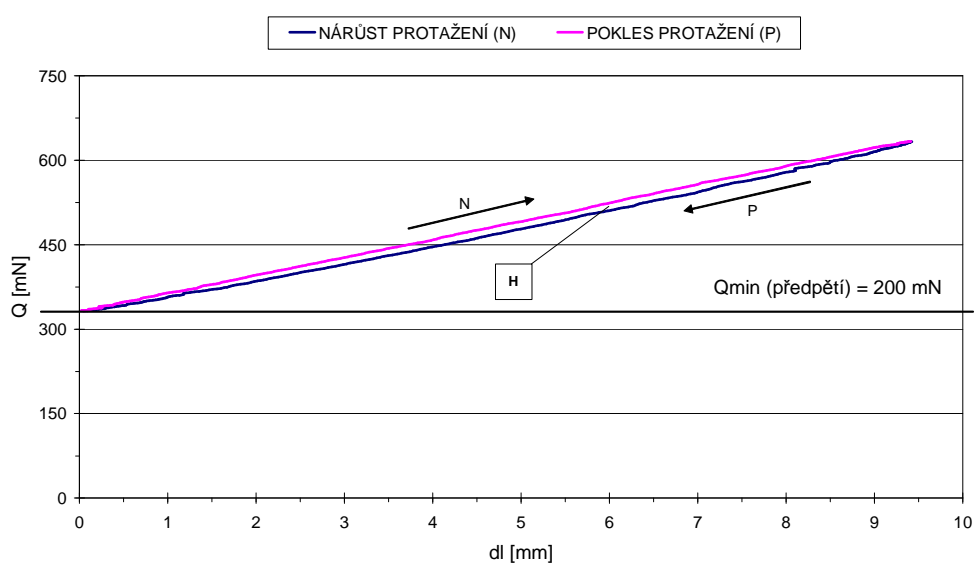
Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 1500 mm a frekvenci 30 Hz



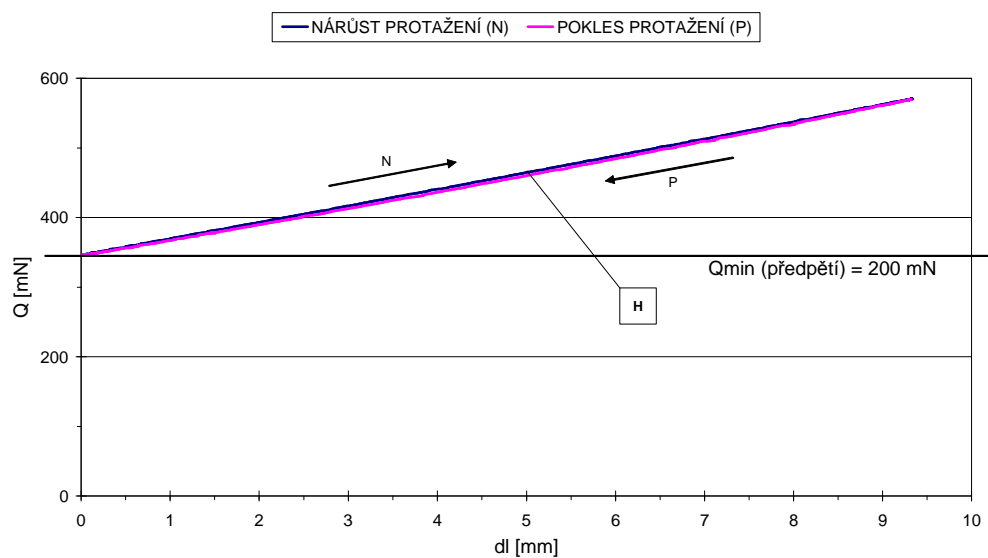
Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2000 mm a frekvenci 30 Hz



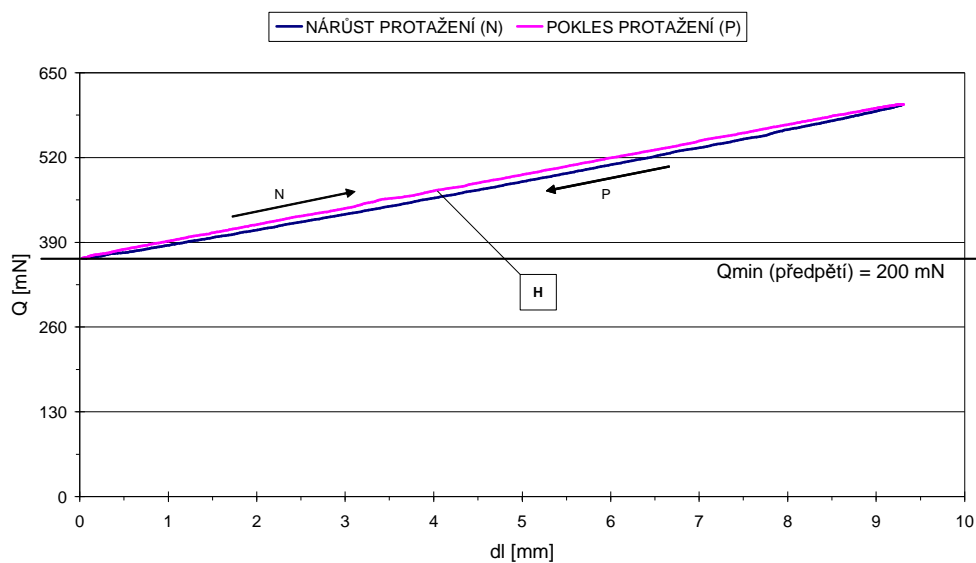
Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 10 Hz



Polyesterový materiál (měření č.2)

Závislost síly Q na protažení dl při upínací délce 2500 mm a frekvenci 30 Hz



Polyesterový materiál (měření č.2)